

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки Техническая физика

Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Деградация физико-механических свойств покрытий нитрида титана на циркониевых сплавах под действием водорода

УДК 621.039.538:621.793:669.295

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОД41	Керимкулов Э.М.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЭФ	Кашкаров Е.Б.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Меньшикова Е.В	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОБД	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга	Кривобоков В.П.	д.ф.-м.н., профессор		

Томск – 2018 г.

**Результаты обучения бакалавров
направления 16.03.01 «Техническая физика»
(профиль «Пучковые и плазменные технологии»)**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Использовать фундаментальные законы природы и естественнонаучных дисциплин, физико-математический аппарат, методы математического анализа, моделирования, оптимизации и статистики для решения задач в различных отраслях технической физики.	Требования ФГОС (ПК-2, 3). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	Участвовать в теоретических и экспериментальных исследованиях в различных отраслях технической физики, связанных с современными высокотехнологическими способами обработки материалов, основанными на использовании радиационных и плазменных потоков; самостоятельно осваивать современную физическую аналитическую и технологическую аппаратуру, применять современные методы исследования свойств материалов и различных структур, проводить стандартные и сертификационные испытания технологических процессов, оборудования и изделий, изучать научно-техническую информацию, разрабатывать адекватные физические и математические модели изучаемых объектов.	Требования ФГОС (ПК-4, 10, 11, 12, 13). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Владеть основными методами работы с информацией, самостоятельно работать на компьютере в средах современных операционных систем и наиболее распространенных прикладных программ, и программ компьютерной графики, применять современные образовательные и информационные технологии.	Требования ФГОС (ПК-5, 6, 7). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	Знать иностранный язык на уровне, позволяющем работать с научно-технической литературой и участвовать в международном сотрудничестве в области технической физики.	Требования ФГОС (ПК-8). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	Участвовать в производственно-технологической деятельности, определять основные параметры технологических процессов, анализировать свойства физико-технических объектов, изделий и материалов, применять современные информационные технологии, пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров, обосновывать принятие конкретного технического решения при разработке технологических процессов и изделий.	Требования ФГОС (ПК-14, 15, 17). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P6	Использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации изделий, элементы экономического анализа производственно-технологических циклов, знать и выполнять правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда.	Требования ФГОС (ПК-16, 18). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P7	Участвовать в проектно-конструкторской деятельности, разрабатывать функциональные и структурные схемы элементов и узлов экспериментальных и промышленных электрофизических установок, реализующих современные пучковые и плазменные технологии, проектировать	Требования ФГОС (ПК-19, 20). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	технологические процессы и оборудование с использованием современных информационных технологий.	международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P8	Участвовать в организационно-управленческой деятельности, уметь работать в команде и организовывать работу исполнителей, находить и принимать управленческие решения.	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-21, 22, 23). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P9	Внедрять и коммерциализировать результаты исследований и проектно-конструкторских разработок, уметь оценивать инновационный потенциал новой продукции в области современных технологий, основанных на использовании радиационных и плазменных потоков.	Требования ФГОС (ПК-21, 22, 23, 24). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Универсальные компетенции		
P10	Осознавать социальную значимость своей профессии, развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, в течение всей жизни самостоятельно обучаться новым методам исследований, пополнять свои знания в области современной технической физики и смежных наук, расширять и углублять свое научное мировоззрение, повышать свою квалификацию и мастерство, поддерживать здоровый образ жизни	Требования ФГОС (ОК-1, 2, 6, ПК-1). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P11	Свободно и грамотно пользоваться русским и иностранными языками как средством делового и профессионального общения, владеть навыками публичной дискуссии, создавать и редактировать тексты профессионального назначения.	Требования ФГОС (ОК-2). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P12	Уметь критически переосмысливать свой накопленный социальный и профессиональный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, следовать этическим и правовым нормам и нести ответственность за последствия своей профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-5, 7, ПК-3). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки Техническая физика

Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
Од41	Керимкулов Эрик Мурзабекович

Тема работы:

Деградация физико-механических свойств покрытий нитрида титана на циркониевых сплавах под действием водорода	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ol style="list-style-type: none">1. Установка для пучковой обработки и магнетронного напыления «Радуга-спектр»2. Циркониевый сплав Э-110
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none">1. Общие сведения о взаимодействии водорода с цирконием (литературный обзор)2. Методы формирования защитных покрытий (литературный обзор)3. Изменение водородопроницаемости покрытий нитрида титана различной4. Формирование покрытий TiN методом магнетронного распыления5. Водородопроницаемость покрытий TiN6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

	7. Социальная ответственность
Перечень графического материала	1. Актуальность 2. Цели и задачи 3. Методика эксперимента 4. Наводороживание образцов 5. Рентгеноструктурный анализ 6. Механические свойства 7. Коэффициенты трения 8. Микроскопические изображения поверхностей образцов 9. Поглощения водорода 10. Заключение
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Меньшикова Екатерина Валентиновна
Социальная ответственность	Федорчук Юрий Митрофанович

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Кашкаров Е.Б			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0д41	Керимкулов Э.М.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
ОД41	Керимкулов Эрик Мурзабекович

Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение школы (НОЦ)	Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	Техническая физика

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования: материально-технических, финансовых и человеческих</i>	<i>Определение материально-технических, финансовых ресурсов, а также заработной платы исполнителей проекта</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>База данных об окладах исполнителей проекта, районный коэффициент (для Томска – 1,3), нормативы о расходовании электроэнергии</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Ставка на отчисления выплат во внебюджетные фонды учреждений – 27,1%</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Определение целевого рынка ТОТЭ. Анализ конкурентных технических решений. SWOT-анализ</i>
2. <i>Составление графика проведения НИР. Формирование и расчет бюджета исследования</i>	<i>Планирование основных этапов НИР с привязкой к исполнителям. Расчет бюджета научных исследований по основным исполнителям</i>
3. <i>Оценка научно-технического эффекта исследования</i>	<i>Определение коэффициента научно-технического эффекта НИОКР на основе оценок признаков работы</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НИ

4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Меньшикова Е.В.	к. ф. н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОД41	Керимкулов Э.М.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
ОД41	Керимкулов Эрик Мурзабекович

Школа	ИШЯТ		Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	Техническая физика

**Тема дипломной работы: Деградация физико-механических свойств покрытий
нитрида титана на циркониевых сплавах под действием водорода**

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:
<p>Целью настоящей работы является исследование влияние водорода на физико-механических свойства покрытий нитрида титана, нанесенных методом магнетронного распыления на циркониевые сплавы.</p> <p>1. Описание рабочего места на предмет возникновения:</p> <p>а) вредных проявлений факторов производственной среды (производственный шум, микроклимат, освещенность, промышленная санитария)</p> <p>б) опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной природы).</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:
<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <p>а) физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</p> <p>б) действие фактора на организм человека;</p> <p>в) приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</p> <p>г) предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</p>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности</p> <p>а) механические опасности (источники, средства защиты);</p> <p>б) термические опасности (источники, средства защиты);</p> <p>в) электробезопасность;</p> <p>г) пожаробезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</p>
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <p>а) анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</p> <p>б) анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</p> <p>в) анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</p> <p>г) наличие отходов;</p> <p>д) методы их утилизации.</p>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <p>а) перечень возможных ЧС на объекте;</p> <p>б) выбор наиболее типичной ЧС: 1) сильные морозы и 2) попытка несанкционированного проникновения посторонних на рабочее место;</p> <p>в) разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</p>

г) разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;
д) разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:
<ul style="list-style-type: none"> • специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; • организационные мероприятия при компоновке рабочей зон.
Перечень графического материала:
1) Схема размещения светильников в помещении
2) План эвакуации рабочих помещений

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	26.02.18
---	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОБД	Федорчук Юрий Митрофанович	Д.Т.Н.		26.02.18

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Д41	Керимкулов Эрик Мурзабекович		26.02.18

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 100 с., 27 рис., 22 табл., 76 источников. Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Office Word 2010.

Ключевые слова: покрытия нитрида титана, водородопроницаемость, циркониевые сплавы, магнетронное напыление, физико-механические свойства.

Объектом исследования является водородопроницаемость и термическая стойкость циркониевых сплавов с покрытиями TiN.

Цель работы – Исследовать возможности покрытий TiN сформированных магнетронной распылительной системой как защитных для уменьшения наводороживания.

В процессе исследования проводился обзор литературы, нанесение покрытий TiN методом магнетронного напыления, измерение водородопроницаемости, твердости, модуля юнга, износостойкости.

Покрытия TiN, могут быть использованы в качестве защитных покрытий от проникновения водорода, в частности, для защиты оболочек твэлов и дистанцирующих решеток в ядерных реакторах.

Экономическая эффективность работы заключается в уменьшении дорогостоящих работ по замене элементов активной зоны ядерных реакторов, за счет увеличения срока их службы.

В будущем планируется провести реакторные испытания полученных покрытий.

Оглавление

РЕФЕРАТ	10
Введение.....	14
1. Литературный обзор	16
1.1. Взаимодействие водорода с циркониевыми сплавами	16
1.1.1. Бинарная фазовая диаграмма водород-цирконий	16
1.1.2. Поглощение водорода при эксплуатации реактора	18
1.1.3. Водородное охрупчивание	19
1.1.4. Переориентация гидридов	21
1.1.5. Замедленное гидридное растрескивание	23
1.2. Сплавы на основе циркония	24
1.2.1. Циркалой	24
1.2.2. Э110, Э125 и Э635 циркониевые сплавы	25
1.2.3. ZIRLO	26
1.2.4. М5 сплавы	27
1.3. Устройство и принцип работы магнетронных распылительных систем 28	
1.3.1. Типы распылительных систем	28
1.3.2. Общий принцип работы	31
1.3.3. Ионная очистка	32
1.4. Покрытия для защиты от коррозии и проникновения водорода	33
1.4.1. Нитридные покрытия	33
1.4.2. Нитрид титана	34
1.4.3. Оксидные покрытия	35
2. Приборы и методы исследования	36
2.1. Установка для пучковой обработки и магнетронного напыления “Радуга-спектр”	36
2.2. Автоматизированный комплекс «GasReactionController»	38
2.3. Прибор для измерения толщины покрытий Calotest CAT-S-0000	40
2.4. Прибор для измерения адгезионной прочности покрытий MicroScratchTester MST-S-AX-0000	42
2.6. Высокотемпературный трибометр ТНТ-S-AX0000	43

2.7. Оптическая спектрометрия высокочастотного тлеющего разряда «GDProfiler2».....	44
2.8. Рентгеновский дифрактометр «XRD-7000S»	45
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	47
Введение.....	47
4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	47
4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования	47
4.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	48
4.1.3. SWOT-анализ.....	49
4.2. Планирование научно-исследовательских работ	50
4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования.....	50
4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ	52
4.2.3. Разработка графика проведения научного исследования.....	53
4.2.3. Календарный план-график в виде диаграммы Ганта	56
4.2.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	59
4.3. Формирование и расчёт затрат, включаемых в себестоимость	59
4.3.1. Затраты на материалы	59
4.3.2. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	62
4.3.3. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	63
4.3.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	64
5. Социальная ответственность	66
Введение.....	66
5.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	66
5.1.1. Производственный шум.....	67
5.1.3. Микроклимат	68
5.1.4. Расчет искусственной освещенности	69

5.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды	73
5.2.1. Электробезопасность	73
5.2.2. Пожаровзрывобезопасность.....	76
5.3. Охрана окружающей среды.....	80
5.4. Защита в чрезвычайных ситуациях	81
5.5. Правовые вопросы обеспечения безопасности	82
Заключение	84
Список литературы	85

Введение

Циркониевые сплавы широко используются в качестве материалов для ключевых компонентов водо-водяных энергетических реакторов (ВВЭР) и канальных реакторов большой мощности (РБМК). Это объясняется низким сечением захвата тепловых нейтронов, хорошей коррозионной стойкостью и прочностными характеристиками. К примеру, на основе сплава Э110 (Zr1%Nb) изготавливают оболочечные трубы и дистанционирующие решетки для реакторов ВВЭР и РБМК.

В процессе эксплуатации такие изделия подвержены наводороживанию. Поглощенный циркониевыми сплавами водород, при определенных концентрациях вызывает охрупчивание и последующее его разрушения. На процессы поглощения водорода изделиями существенное влияние оказывает структурно-фазовое состояние циркониевых сплавов, условия эксплуатации (температура, действующие напряжения). По техническим условиям не удастся исключить проникновение водорода в изделия из циркониевых сплавов. Таким образом, проблема воздействия водорода на физико-механические свойства циркониевых сплавов является актуальной и представляет не только практический, но и фундаментальный интерес.

На сегодняшний день существует несколько путей решения данной проблемы: усовершенствование состава циркониевых сплавов, разработка новых сплавов, модификация поверхности изделий и нанесение защитных покрытий. Анализ литературных данных по возможным путям решения проблемы, показывает перспективность вакуумных ионно-плазменных технологий нанесения покрытий для защиты циркониевых сплавов от водородной коррозии [1].

В работах [2, 3] приводятся разные защитные покрытия, например, нитридные, оксидные. Одними из наиболее перспективных с точки зрения защитных свойств являются покрытия нитрида титана TiN полученного

методом магнетронного напыления. Покрyтия TiN снижают интенсивность поглощения водорода циркониевыми сплавами и обладают высокой коррозионной и эрозийной стойкостью [4]. Однако отсутствуют данные о влиянии температуры на скорость поглощения водорода циркониевым сплавом Э110 с покрытием нитрида титана при различных температурах, а также изменении физико-механических свойств покрытий после наводороживания.

Целью настоящей работы является исследование возможностей покрытий TiN сформированных магнетронной распылительной системой как защитных для уменьшения наводороживания.

Задачами данной работы является:

1. Сформировать тонкопленочное покрытие на поверхности образцов (Э110).
2. Изучить кинетику сорбции водорода циркониевым сплавом с покрытием нитрида титана при температурах наводороживания (350 °С, 450 °С, 900 °С).
3. Исследовать изменение физико-механических свойств покрытий TiN в зависимости от температуры наводороживания.

1. Литературный обзор

1.1. Взаимодействие водорода с циркониевыми сплавами

1.1.1. Бинарная фазовая диаграмма водород-цирконий

Взаимодействие циркония и водорода изучается уже на протяжении 60 лет, однако остается еще большое количество неопределенностей относительно природы и образования некоторых гидридных фаз [5-9]. На рисунке 1 показана бинарная фазовая диаграмма Zr-H [4].

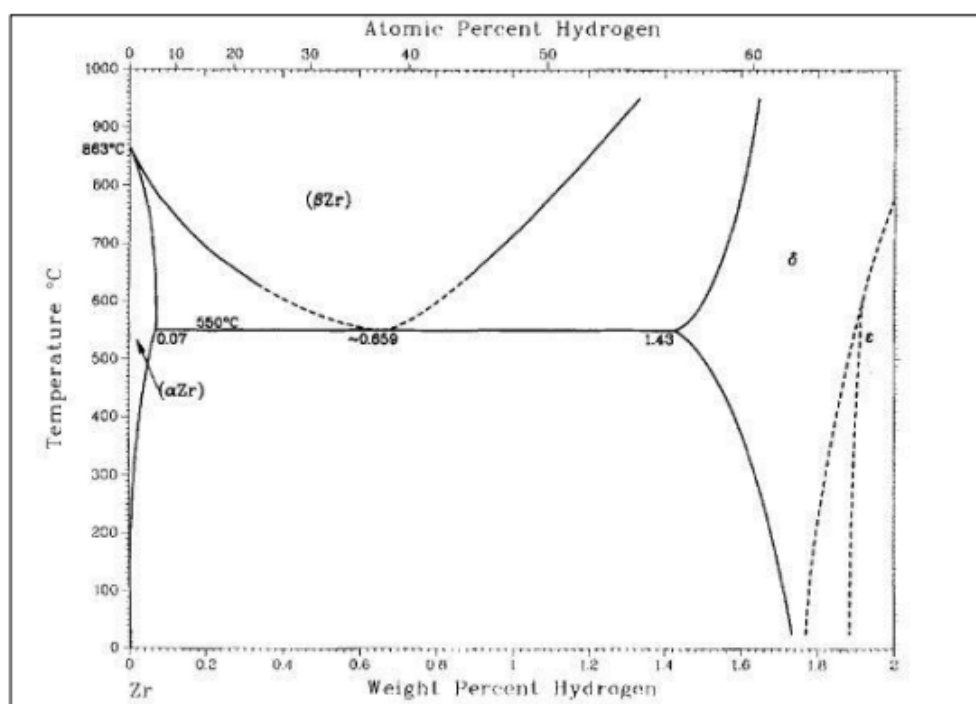


Рисунок 1 - Фазовая диаграмма Zr-H [4]

В системе Zr-H имеется пять первичных фаз, в области от 0 - 1000 °C и 0 - 2 мас.% водорода. Это: α -Zr, β -Zr, γ -ZrH, δ -ZrH_{1.66} и ϵ -ZrH₂ [9]. Фаза γ не показана на фазовой диаграмме, поскольку многие считают, что она является метастабильной фазой [8-10], хотя некоторые авторы утверждают о ее устойчивости как неравновесной фазы [7].

Было предположено, что стабильность γ -фазы может зависеть от чистоты циркония и легирующих элементов [6]. Сообщается, что δ -гидрид

предпочтительно осаждается в циркониевых сплавах с повышенными концентрациями α -стабилизаторов (например, O, Hf, Sn), в то время как γ -гидрид предпочтительно осаждается в цирконии или сплавах высокой чистоты, содержащих β -стабилизаторы [6].

Предполагается, что образование γ -гидридных и ϵ -гидридных фаз происходит путем мартенситных превращений δ -гидрида [10]. В отличие от диффузионных мартенситных превращений, эти преобразования требуют изменения концентрации водорода [10]. Только 1-1 стехиометрический состав для γ -гидрида (ZrH) является точным, так как δ и ϵ фазы имеют широкий диапазон устойчивых стехиометрий [10].

Чистый цирконий в α -Zr-фазе имеет гексагональную плотноупакованную кристаллическую структуру (ГПУ) и находится в устойчивом состоянии ниже температуры перехода β -фазы 863°C [8, 11]. β -фаза имеет объемно-центрированную кристаллическую структуру (ОЦК) и стабильную температуру ниже 863°C [8, 10]. Некоторые легирующие элементы, такие как водород и ниобий, действуют как β -стабилизаторы, снижают температуру β -перехода и ингибируют разложение β -фазы [6, 12]. Сообщается, что фаза β -Zr имеет большее сродство к водороду, чем α -Zr, и повышенную растворимость в твердом состоянии [12-14]. Высокие значения термической твердой растворимости означают, что больше водорода может быть поглощено до осаждения хрупких гидридов, что приводит к увеличению срока службы компонентов в активной зоне [12].

Поглощение водорода оболочкой происходит при повышенных температурах. Гидридные фазы, осажденные в оболочке при охлаждении, зависят от концентрации водорода и скорости его охлаждения [15]. Поскольку более высокие концентрации водорода и скорости охлаждения менее 10 K/мин приводят к преимущественному осаждению δ -гидридной фазы (δ -гидридная фаза является доминирующей фазой) присутствующей в оболочке отработанного ядерного топлива во время влажного хранения [6, 9, 15, 16].

1.1.2. Поглощение водорода при эксплуатации реактора

Коррозия компонентов циркониевого сплава во время работы реактора является критическим феноменом, ограничивающим производительность. Крайняя агрессивность внутренней среды создает серьезные проблемы с производительностью оболочки. Снижение производительности при облучении отрицательно сказывается на целостности оболочки и ее эффективности после облучения. Деградация целостности оболочки тесно связана с уровнем выгорания топлива [16].

На механические свойства оболочки влияет поглощение водорода оболочкой [17, 18]. На поверхности оболочки коррозия происходит главным образом в форме окисления:

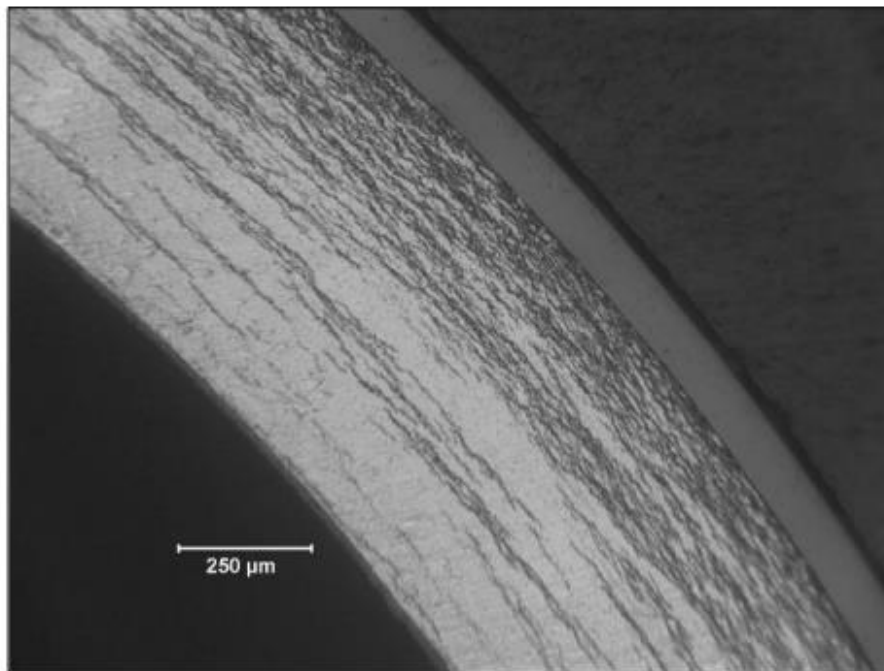
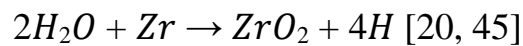


Рисунок 2 - Пример поглощения водорода во время водной коррозии:
740 wppm H [19]

Во время процесса окисления воды на внешней поверхности оболочки, темной области на рисунке, образуется толстый слой оксида. Часть выделяющегося водорода поглощается оболочкой и диффундирует под

действием напряжений и градиентов температур. На рисунке абсорбированный водород осаждается с образованием тангенсальных гидридов. Большинство гидридов осаждаются вблизи наружной поверхности, но гидриды присутствуют во всем образце. Выделенный водород, не поглощенный оболочкой, уносится хладагентом [19].

Соотношение поглощенного водорода и общего водорода, выделяющегося в процессе окисления, называется фракцией поглощения водорода [20]. Фракция поглощения водорода зависит от легирующих компонентов и способов изготовления [19, 21].

Когда количество водорода, поглощаемого оболочкой, превышает значение кривой на диаграмме фазовых равновесий, гидрид циркония осаждается как вторая фаза [9, 15, 22, 23].

При высоких уровнях выгорания топлива водород накапливается между 350 wppm и 800 wppm, что приводит к водородному охрупчиванию и потенциальному разрушению компонентов при задержанном гидридном растрескивании [19].

1.1.3. Водородное охрупчивание

Поглощение водорода приводит к деградации механических свойств, процесс известен как водородное охрупчивание. В сочетании с потенциалом гидридного растрескивания (замедленным гидридным растрескиванием) оболочка подвергается риску разрушения при работе реактора и при длительном хранении [16, 24].

Водородное охрупчивание - это деградация механических свойств вследствие образования гидридов [16]. Охрупчивание оболочек твэлов увеличивается с выгоранием, связанное с этим увеличение окисления приводит к повышению содержания водорода. Для рабочих температур реактора в районе 315 °C растворимость водорода менее 100 wppm.

При выпадении гидридов циркония образуются пластинки с высокоструктурированной радиальной или тангенсальной ориентацией, ориентация связана с внутренними напряжениями оболочки. Пример тангенсальной гидридов в оболочке приведен на рисунке 3.

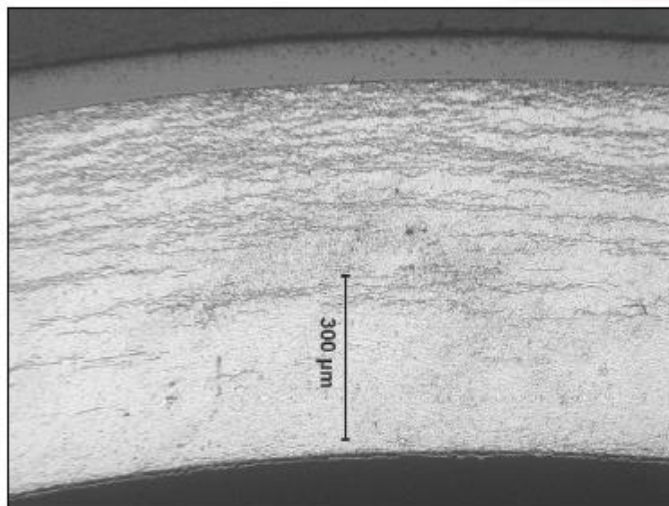


Рисунок 3 - Наружный оксидный слой с градиентом тангенсальных гидридов в объеме [19].

Охрупчивание сильно связано с ориентацией гидридов [25]. Радиальные гидриды отрицательно влияют на целостность и показаны на рисунке 4.

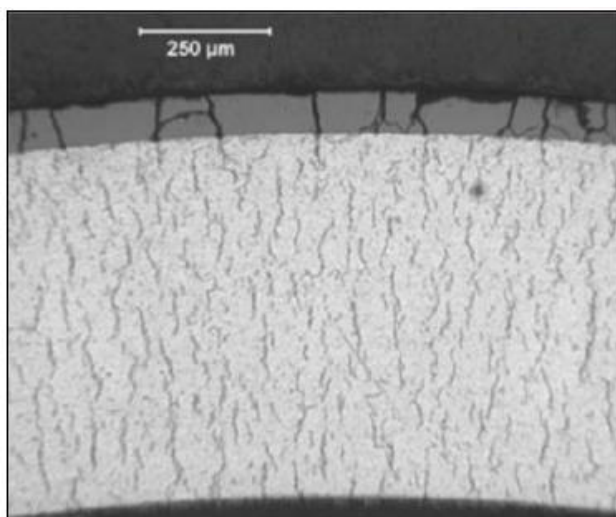


Рисунок 4 - Наружный оксидный слой с радиальными гидридами в объеме [16].

Наличие гидридов приводит к потере пластичности и быстрому снижению текучести при температурах до 150 °С [26]. Скорость охрупчивания быстро возрастает при повышенных температурах [16, 19].

Восприимчивость сплавов на основе циркония к водородному охрупчиванию была снижена за счет улучшения их коррозионной стойкости и контроля предпочтительной ориентации гидридов. Коррозионная стойкость улучшалась благодаря комбинированной композиции сплава и способами изготовления [27-29, 30, 31, 36]. Исследования 1960-х годов показали, что ориентация гидридов в циркониевых сплавах зависит от внутреннего напряжения, структуры зерен [27]. Было определено, что, хотя процессы изготовления дистанцирующих труб состоят из нескольких этапов, последний шаг наиболее важен для определения ориентации осажденных гидридов [30]. В результате текущие способы изготовления оболочки предназначены для уменьшения охрупчивания посредством контроля текстуры и остаточного напряжения в материале после изготовления [16, 24, 27, 30]. Новые сплавы и технологии продолжают разрабатываться для повышения производительности и срока службы оболочек сплавов при высоких уровнях выгорания топлива [31, 33].

1.1.4. Переориентация гидридов

Хотя методы изготовления оболочек непосредственно влияют на преимущественное осаждение тангенсальных гидридов, как обсуждалось в предыдущем разделе, изменение поля напряжений может привести к переориентации гидридов [25]. Переориентация происходит, когда ранее осажденные гидриды распадаются обратно в растворенное состояние, а затем снова выпадают в осадок под воздействием текущих внутренних растягивающих напряжений. Такое растворение обусловлено повышением температуры оболочки, которое может происходить при нормальной

эксплуатации, пусках и остановках реактора, потерей теплоносителя, аварией, а также при вакуумной сушке, когда топливо переводится на сухое хранение. Было отмечено, что для переориентации гидридов прикладное напряжение должно превышать пороговое значение [24, 25]. Стресс порог переориентации был измерен для различных циркониевых сплавов в диапазоне от 75 – 220 МПа в диапазоне температур 250 – 550 °С. Это изменение связано с различиями в микротекстуре и концентрации водорода, хотя может зависеть и от других факторов [24, 34, 35].

Процесс сухого хранения изменяет внутреннее напряженное состояние оболочки, что показано на рисунке 5.

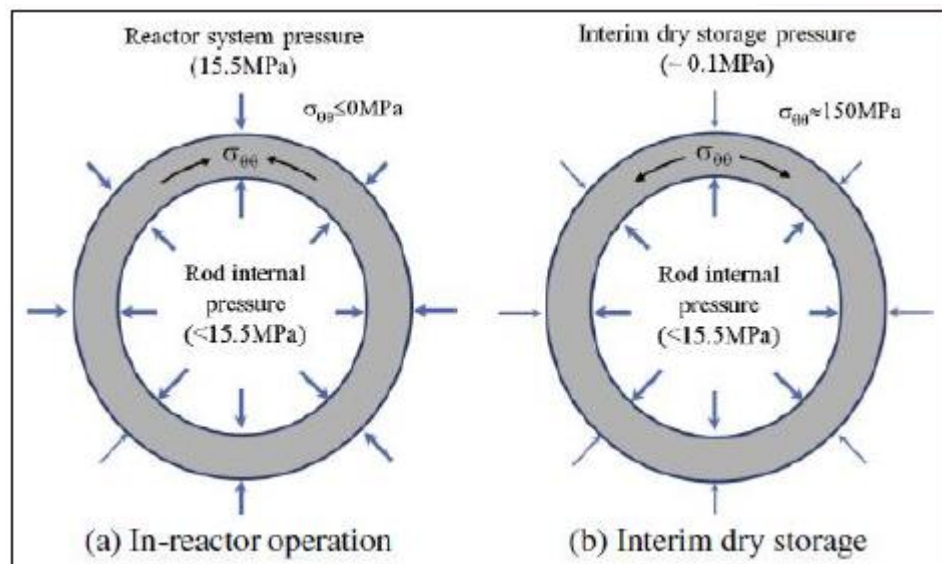


Рисунок 5 - Изменение напряженного состояния оболочки от сжимающего до растягивающего напряжения [34].

На рисунке 5 показано, что, находясь в активной зоне реактора и во время влажного хранения, внешнее давление уравнивает внутреннее давление в ТВэле.

1.1.5. Замедленное гидридное растрескивание

Как отмечалось выше, используемая оболочка охрупчивается с образованием гидроциркония. Как тепловыделяющие сборки (ТВС) помещены в сухое хранилище, это может привести к переориентации гидридов. При хранении возникает еще одна проблема, так как водород может продолжать мигрировать в оболочке, и начинается процесс замедленного гидридного растрескивания [37]. Замедленное гидридное растрескивание представляет собой устойчивый рост трещин. Замедленное гидридное растрескивание приводит к нескольким отказам от компонентов циркония в реакторах и является актуальной проблемой [37, 38]. Рисунок 6 иллюстрирует процесс замедленного гидридного растрескивания.

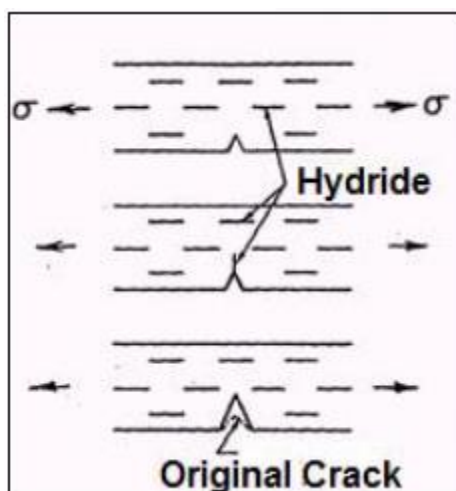


Рисунок 6 - Иллюстрация процесса, замедленного гидридного растрескивания.

Гидридное растрескивание начинается с трещины создавая область высокого напряжения (вверх), затем появляются хрупкие гидридные выделения в вершине трещины (середина). Гидридные переломы и трещина прорастают через зародышевую область (низ). [7]

1.2. Сплавы на основе циркония

Сплавы на основе циркония широко используются в качестве материалов для ключевых компонентов в легководных реакторах, таких как твэлы, которые страдают от водородного охрупчивания, поглощения водорода и потери прочности при повышенной температуре, особенно во время аварийных ситуаций таких как авария с потерей теплоносителя. Многочисленные исследования для достижения приемлемого запаса прочности и уменьшения влияния агрессивной среды приводят к появлению передовых сплавов на основе Zr, таких как Э635, Э110, ZIRLO, M5, MDA, X5A и J-сплавы.

1.2.1. Циркалой

Нелегированный Zr демонстрирует слабую коррозионную стойкость, которая ухудшается с увеличением содержания N. для улучшения коррозионной стойкости, прочности и технологичности, 2,5% Sn были добавлены к нелегированному Zr для смягчения неблагоприятных эффектов N. Этот сплав был обозначен как Zry-1. Однако добавление Sn не может оказывать полного положительного эффекта, если не присутствуют Fe, Ni или Cr. Кроме того, скорость коррозии сплавов Zr-Sn уменьшается с уменьшением содержания Sn. Соответственно, содержание Sn снижалось до 1,8% на основе Zry-1.

Были добавлены Fe, Ni и Cr для увеличения коррозионного сопротивления сплава, что привело к появлению Zry-2. Чтобы дополнительно улучшить коррозионную стойкость Zry-2 были разработаны три новых сплава, а именно Zry-3A, 3B и 3C (химические составы приведены в таблице 2).

Zry-3 не был принят электростанциями из-за их более низкой прочности (около 75% от Zry2).

Таблица 1 - Композиционный состав сплавов циркония серии Циркалой

Сплавы	Массовая доля легирующего элемента, [%]		
	Sn	Fe	Cr
Zry-1	2.5	-	-
Zry-2	1.5	0.12	0.1
Zry-3A	0.25	0.25	-
Zry-3B	0.5	0.4	-
Zry-3C	0.5	0.2	-

1.2.2. Э110, Э125 и Э635 циркониевые сплавы

В России в твэлах водо-водяных реакторов и реакторов большой мощности используются три циркониевых сплава; их химический состав в отношении легирующих элементов приведен в верхней части таблицы 2 [39-41].

Таблица 2 - Zr-сплавы, используемые как конструкционные материалы в реакторах с водяным охлаждением и реакторах большой мощности

Сплав	Массовая доля легирующего элемента, [%]			
	Nb	Sn	Fe	O
Э110	0.90 - 1.10	-	<0.05	<0.099

Э125	2.4 - 2.7	-	<0.05	<0.099
Э635	0.90 - 1.10	1.10 - 1.30	0.30 - 0.40	0.05 - 0.12

Э110 сплав используется в качестве материала для ТВЭЛОВ, а также дистанцирующих решеток топливных сборок. Сплав Э635 используется как материал для центральных труб, дистанцирующих решеток топливных сборок в ВВЭР-1000. Сплав Э125 используется для оболочек ВВЭР-440 и энергоблока ВВЭР-1000 Нововоронежской АЭС, а также для канальных труб управления защитной системы и центральных труб топливных сборок в реакторах РБМК.

1.2.3. ZIRLO

Для того чтобы получить увеличенные температуры охлаждения и интервал дозаправки, тем самым уменьшить количество радиоактивных отходов, сплав Zr-Sn-Nb-Fe обрабатывался отжигом при температуре 873 К в течение 8 ч, и был назван ZIRLO. ZIRLO был разработан на основе российского Э635 для водо-водяных ядерных реакторах в 1987 году.

Впоследствии были подтверждены достоинства ZIRLO, в которых рост ползучести и облучения ZIRLO в реакторе был примерно на 80% и 50% соответственно ниже, чем у Zry. Кроме того, ZIRLO обладает лучшей коррозионной стойкостью, более низким ростом облучения и превосходными свойствами ползучести для топлива с различным уровнем выгорания, чем другие сплавы Zr-Nb, и используется в Соединенных Штатах, как и в некоторых европейских странах с конца 1990-х годов.

Таблица 3 - Композиционный состав сплава циркония ZIRLO

Сплав	Массовая доля легирующего элемента, [%]
-------	---

	Sn	Fe	Cr	Nb	O
ZIRLO	1.02	0.1	-	1.01	0.09-0.15

1.2.4. M5 сплавы

Как было описано ранее, уменьшение содержания Sn в сплавах на основе Zr приводит к снижению скорости коррозии, поэтому современная тенденция оптимизации существующих сплавов или разработки новых сплавов заключается в уменьшении содержания Sn. Новые сплавы на основе Zr с более низким содержанием Sn ($<1,3\%$) были получены: четвертичные материалы (Zr, Sn, Fe и V, обозначенные как M4), (Zr, Sn, Fe и Nb) и тройные материалы (Zr, Nb и O обозначенные как M5).

Но в любом случае только M5 применяется в качестве материала оболочки в широком диапазоне сред водо-водяных реакторов при выгорании до 78 ГВт/метрических тонн урана. M5, разработанный на основе российского материала Э110 в 1980-х годах, представляет собой сплав Zr-Nb, лишенный Sn с контролируемым содержанием O, Fe и S и отличается гомогенной высокоочищенной дисперсией b-Nb-выделений в полностью рекристаллизованной микроструктуре, которая в первую очередь отвечает за выгодную сопротивляемость ползучести.

Отсутствие Sn и оптимизированная термообработка приводят к очень высокой коррозионной стойкости и превосходным механическим свойствам при высокой дозе облучения. O показывает положительное влияние на тепловую ползучесть в диапазоне 900-1800 ppm, в то время как C должен удерживаться на относительно низком уровне из-за его неблагоприятного воздействия на коррозию в паре при температуре 400 ° C. Точно так же содержание S оптимизировано, чтобы быть ниже, чем 10 ppm, поскольку преднамеренное добавление S может обеспечить улучшенную

высокотемпературную механическую прочность оболочки М5 без ухудшения коррозионной стойкости.

Таблица 4 - Композиционный состав сплава циркония М5

Сплав	Массовая доля легирующего элемента, [%]				
	Sn	Fe	Cr	Nb	O
М5	-	0.05	0.015	1	0.09-0.13

1.3. Устройство и принцип работы магнетронных распылительных систем

1.3.1. Типы распылительных систем

В качестве источников распыления часто используют магнетроны, которые используют сильные электрические и магнитные поля для локализации заряженных частиц плазмы вблизи поверхности мишени распыления. В магнитном поле электроны следуют по спиральным путям вокруг линий магнитного поля, подвергаясь ионизирующим столкновениям с газовыми нейтралами вблизи поверхности мишени.

Рабочий газ обычно представляет собой инертный газ, такой как аргон. Дополнительные аргоновые ионы, создаваемые в результате этих столкновений, приводят к более высокой скорости осаждения. Таким образом, плазму можно поддерживать при более низком давлении. Распыленные атомы нейтрально заряжены и поэтому не подвержены влиянию магнитной ловушки. Снижение заряда на изоляционных мишенях можно избежать с помощью радиочастотного распыления, где знак анод-катодного смещения изменяется с высокой скоростью (обычно 13,56 МГц) [42]. Радиочастотное распыление хорошо работает для производства высокоизолирующих оксидных пленок, но с добавленной стоимостью радиочастотных источников питания и сетей

согласования импеданса. Излучение магнитных полей, протекающих из ферромагнитных мишеней, также нарушает процесс распыления.

В настоящее время существует большое количество методов распыления. Их классификация представлена ниже:

- Ионно-лучевое распыление
- Реактивное распыление
- Ионное осаждение
- Напыление с высоким использованием мишени
- Импульсное магнетронное распыление высокой мощности
- Распыление газовым потоком

Ионно-лучевое распыление представляет собой метод, в котором мишень является внешней по отношению к ионному источнику. Источник может работать без какого-либо магнитного поля, например, в ионизаторе с горячей нитью. В источнике Кауфмана ионы генерируются столкновениями с электронами, которые ограничены магнитным полем, как в магнетроне. Затем они ускоряются электрическим полем, исходящим от сетки к цели. Когда ионы покидают источник, они нейтрализуются электронами со второй внешней нити. Преимущество ионно-лучевого распыления заключается в том, что энергию и поток ионов можно регулировать независимо. Так как поток, который ударяет по мишени, состоит из нейтральных атомов, можно распылять либо изоляционные, либо проводящие мишени. Ионно-лучевое распыление нашло применение в производстве тонкопленочных головок для дисководов. Градиент давления между источником ионов и камерой пробы генерируется путем помещения входа газа в источник и съемки через трубу в камеру пробы. Это экономит газ и уменьшает загрязнение. Основным недостатком ионно-лучевого распыления является большой объем работ по обслуживанию, необходимый для поддержания работы ионного источника. [43]

При реактивном распылении распыленные частицы подвергаются химической реакции перед покрытием подложки. Поэтому осажденная пленка

отличается от материала мишени. Химическая реакция, которую подвергаются частицы, происходит из-за реактивного газа, вводимого в камеру распыления, такую как кислород или азот; оксидные и нитридные пленки часто изготавливаются с использованием реактивного распыления. Состав пленки можно регулировать путем изменения относительных давлений инертных и реактивных газов. Стехиометрия пленки является важным параметром для оптимизации функциональных свойств, таких как напряжение в SiNx и показатель преломления SiOx .

При ионном осаждении подложка подвергается воздействию вторичного ионного пучка, работающего на более низкой мощности, чем ионно-лучевое распыление. Обычно источник Кауфмана, используемый и в ионно-лучевом распылении, производит вторичный пучок. Ионное осаждение можно использовать для осаждения углерода в алмазоподобной форме на подложке. Любые атомы углерода, приземляющиеся на подложке, которые должным образом не связаны в кристаллической решетке алмаза, будут сбиты вторичным лучом. NASA использовала этот метод для экспериментов с осаждением алмазных пленок на лопастях турбины в 1980-х годах. Ионное осаждение используется в других важных промышленных применениях, таких как создание четырехгранных аморфных углеродных поверхностных покрытий на жестких дисковых пластинах и твердых нитридных покрытий переходных металлов на медицинских имплантатах.

Напыление с высоким использованием мишени может быть выполнено путем удаленной генерации плазмы с высокой плотностью. Плазма генерируется в боковой камере, открывающейся в основную технологическую камеру, содержащую мишень и подложку, подлежащую покрытию. Поскольку плазма генерируется удаленно, а не от самой мишени (как при обычном магнетронном распылении), ионный ток к мишени не зависит от напряжения, приложенного к мишени.

Импульсное магнетронное распыление высокой мощности - это метод физического осаждения из паровой фазы тонких пленок, основанный на

напылении магнетронного напыления. Импульсное магнетронное распыление высокой мощности использует чрезвычайно высокие плотности мощности порядка кВт / см² при коротких импульсах (импульсах) в десятки микросекунд при низком рабочем интервале <10%.

Распыление газовым потоком использует эффект полого катода, тот же эффект, с которым работают полые катодные лампы. При распылении газовым потоком рабочий газ, такой как аргон, пропускается через отверстие в металле, подверженном отрицательному электрическому потенциалу [44] [45]. Повышенные плотности плазмы возникают в полом катоде, если давление в камере p и характерный размер L полого катода подчиняются закону Пашена $0,5 \text{ Па} \cdot \text{м} < p \cdot L < 5 \text{ Па} \cdot \text{м}$. Это вызывает высокий поток ионов на окружающие поверхности и большой эффективность распыления.

1.3.2. Общий принцип работы

Устройство обычного (сбалансированного) магнетрона представлено на рисунке 2. Основными элементами магнетрона являются постоянные магниты (1), магнитопровод (2), распыляемая мишень (3) и корпус (4). Между магнетроном (катод) и корпусом камеры (анод) прикладывается постоянное напряжение, вызывающее эмиссию электронов с поверхности мишени. Наличие замкнутого магнитного поля у распыляемой поверхности позволяет локализовать плазму разряда непосредственно у мишени.

Электроны ускоряются в электрическом и закручиваются в магнитном поле, в результате чего происходит их движение по циклоиде вдоль поверхности мишени.

Ускоренные электроны ионизируют рабочий газ (аргон). Образовавшиеся таким образом ионы аргона ускоряются в электрическом поле, бомбардируют поверхность мишени, и распыляют ее.

Распыленные атомы осаждаются на поверхность образца.

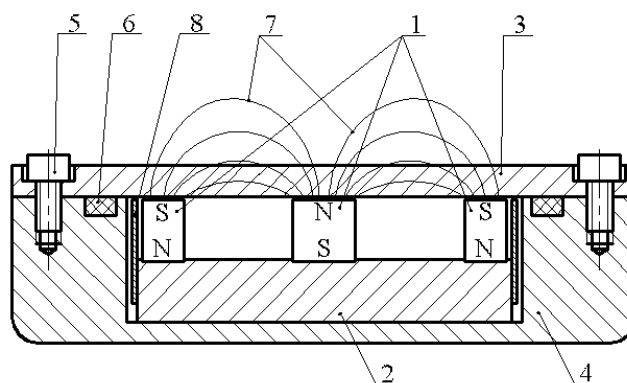


Рисунок 7 – Поперечный разрез магнетрона: 1-магниты; 2-магнитопровод; 3- мишень; 4-корпус; 5-винты крепления мишени; 6- резиновое уплотнение; 7-силовые линии магнитного поля; 8-магнитный шунт.

Наиболее интенсивно распыляется поверхность мишени в области сильного магнитного поля, которая имеет вид замкнутой дорожки, геометрия которой определяется формой полюсов магнитной системы [46].

1.3.3. Ионная очистка

Наиболее широко для ионной очистки используются источники с замкнутым дрейфом электронов. На рисунке 8 показана схематическая конструкция и внешний вид такого источника.

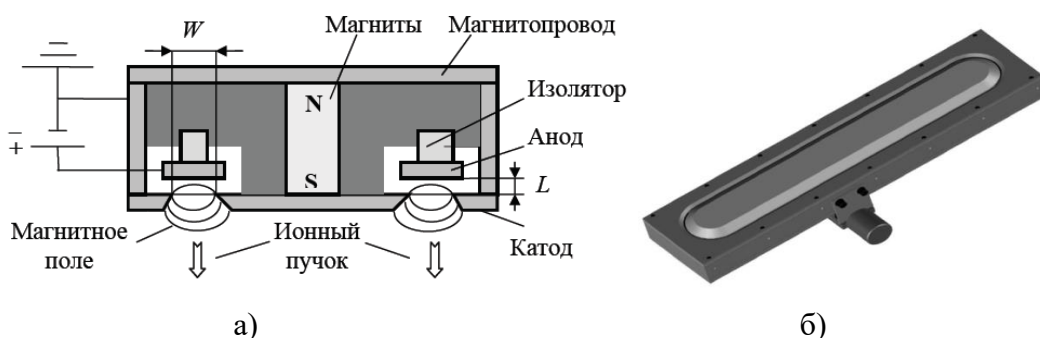


Рисунок 8 – Источник с замкнутым дрейфом электронов: а) – схематическая конструкция (L – расстояние между анодом и катодом, W – ширина ускоряющего канала); б) – внешний вид.

Принцип работы ионного источника, может быть описан следующим способом. Рабочий газ подается в зазор между катодом и анодом. При подаче положительного потенциала на анод (1 – 5 кВ), скрещенное электрическое и магнитное поле заставляет электроны совершать замкнутое дрейфовое движение по сложной траектории в ускоряющем канале ($W=1,5 - 3$ мм). Благодаря этому на пути своего движения электроны многократно ионизуют рабочий газ. Полученные ионы рабочего газа ускоряются электрическим полем в зазоре между катодом и анодом источника ($L=2 - 4$ мм) [47, 48].

1.4. Покрытия для защиты от коррозии и проникновения водорода

1.4.1. Нитридные покрытия

Для защиты конструкционных материалов используются защитные

покрытия ZrN, CrN и TiN и их комбинации. Известно, что данные покрытия обладают хорошими показателями износостойкости, твердости, термической стойкости, а также коррозионной стойкости. В ряде работ [49, 50] покрытия TiN полученные ионно-плазменными способами, значительно снижают скорость проникновения водорода.

Тонкие пленки нитрида титана, нанесенные на оболочки твэлов стали НТ-9 и МА957 существенно увеличивают механическую прочность сплавов, термостойкость, а также образуют диффузионный барьер для проникновения ядерного топлива вглубь оболочки твэла [51]. Защитное покрытие нитрида титана образует на поверхности тонкий оксидный слой. Формирование оксидной пленки, образующейся на TiN покрытии, дополнительно увеличивает коррозионную стойкость [52]. Несмотря на высокую твердость и коррозионную стойкость, адгезия покрытий TiN недостаточно высокая из-за высоких остаточных напряжений сжатия в данных пленках [53].

1.4.2. Нитрид титана

Нитрид титана (TiN) (иногда известный как тинит) представляет собой чрезвычайно жесткий керамический материал, часто используемый в качестве покрытия на титановых сплавах, стали, карбида и алюминиевых компонентов для улучшения свойств поверхности подложки.

Применяется в качестве тонкого покрытия. Нитрид титана используется для упрочнения и защиты режущих и скользящих поверхностей, в декоративных целях (из-за своего золотого цвета), и как нетоксичный экстерьер для медицинских имплантатов. В большинстве применениях толщина покрытия меньше чем 5 микрон (0,00020 дюйма).

Нитрид титана имеет твердость по Виккерсу 1800-2100 ГПа, модуль упругости 251 ГПа, коэффициент теплового расширения $9,35 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ и температуру сверхпроводящего перехода 5,6 К. [54] [55]

Нитрид титана окисляется при 800 °C в нормальной атмосфере. Он химически стабилен при 20 °C в соответствии с лабораторными испытаниями, но может медленно разрушаться концентрированными кислотными растворами с повышением температуры [54]. В зависимости от материала подложки и чистоты поверхности нитрид титана будет иметь коэффициент трения от 0,4 до 0,9. Типичная форма нитрида титана имеет кристаллическую структуру типа NaCl с примерно 1:1 стехиометрией; Однако соединения TiN_x с x от 0,6 до 1,2 являются термодинамически стабильными [56-59].

Покрытия TiN также использовались в имплантированных протезах (особенно имплантатах для замены тазобедренного сустава) и других медицинских имплантатах.

Тонкие пленки TiN также используются в микроэлектронике, где они служат проводящей связью между активным устройством и металлическими контактами, используемыми для работы схемы, действуя как диффузионный барьер, блокирующий диффузию металла в кремний. В этом контексте TiN классифицируется как «барьерный металл», хотя он явно

керамический с точки зрения химии или механического поведения. Недавний дизайн чипов в технологии 45 нм и за его пределами также использует TiN как «металл» для улучшения характеристик транзистора.

Из-за их высокой биостойкости слои TiN могут также использоваться в качестве электродов в биоэлектронных применениях [60], например, в интеллектуальных имплантатах или биосенсорах, которые должны выдерживать серьезную коррозию, вызванную жидкостями организма. Электроды TiN уже были применены в проекте субретинального протеза [61], а также в биомедицинских микроэлектромеханических системах [62].

Значительное применение покрытие TiN нашло как защитное покрытие для снижения интенсивности поглощения водорода циркониевыми сплавами в активной зоне водо-водяных реакторов и реакторов большой мощности. Покрытия TiN также обладают высокой коррозионной и эрозионной стойкостью.

1.4.3. Оксидные покрытия

Полученный оксидный слой на поверхности циркониевых сплавов должен обеспечивать лучшие защитные свойства, чем ZrO_2 , образующийся на оболочках твэлов при эксплуатации в ядерных реакторах. Покрытия Al_2O_3 являются стабильными и обладают низкой скоростью роста при высоких температурах [63]. Однако, сформированный слой Al_2O_3 на поверхности циркониевых сплавов является восприимчивым к растрескиванию в процессе производства ядерного топлива из-за его хрупкости. В связи с этим, разрабатываются покрытия, образующие оксид алюминия Al_2O_3 в процессе эксплуатации циркониевых сплавов в водной среде. Сплавы на основе Al_3Ti окисляются и образуют на поверхности оксид алюминия Al_2O_3 , обладающего высокой стойкостью к окислению при высоких температурах в течении

длительного периода времени [64]. Тем не менее, сплавы на основе Al_3Ti имеют несимметричную кристаллическую структуру и являются хрупкими.

Покрытия оксида титана TiO_2 и оксида циркония ZrO_2 вызывают большой интерес исследователей, благодаря наличию таких свойств, как коррозионная стойкость, низкий коэффициент диффузии водорода, термическая стойкость и др. Наиболее перспективным методом нанесения покрытия ZrO_2 является микродуговое оксидирование (МДО) [65]. Пленки, полученные методом МДО имеют гладкую поверхность, состоят из моноклинной- ZrO_2 и тетрагональная- ZrO_2 фазы, и обладают высокой коррозионной стойкостью [66]. Несмотря на хорошие коррозионные свойства, большинство оксидных покрытий, сформированных на поверхности циркониевых сплавов, обладают низкой адгезией и стойкостью к окислению при высоких температурах. Более того при фазовом переходе из тетрагональной в моноклинную фазу происходит локальное увеличение объема, что приводит к образованию микротрещин.

2. Приборы и методы исследования

2.1. Установка для пучковой обработки и магнетронного напыления “Радуга-спектр”

Установка предназначена для реализации гибридных технологий ионно-плазменной модификации свойств поверхностных слоев, включая имплантацию ионов газов, нанесение однослойных и многослойных покрытий широкой номенклатуры способом конденсации вещества с ионным ассистированием на изделия. Внешний вид вакуумной камеры представлен на рисунке 9.



Рисунок 9 – Внешний вид вакуумной камеры установки “Радуга-спектр”

Низкоэнергетичный ионный источник служит для очистки поверхности материалов и различных изделий в вакуумных камерах перед осаждением на них покрытий методом напыления. Очистка поверхности заключается в распылении атомов в результате рассеяния на них ускоренных ионов, создаваемых ионным источником. Ионная очистка производится способом ускоренных ионов газов, предварительно ускоренных в диодной системе прямого действия, энергия ионов лежит в диапазоне (0 – 3,5) кэВ.

В качестве генераторов плазмы в составе установки применены вакуумно-дуговой испаритель и магнетрон.

Магнетрон предназначен для нанесения металлических и оксидных тонкопленочных покрытий на различные материалы и изделия. Принцип действия основан на распылении поверхности мишени плазмой газового разряда, находящейся в скрещенных электрическом и магнитном полях.

На базе установки реализован режим ионной очистки и активации поверхности обрабатываемых изделий на основе использования вакуумно-

дугового генератора плазмы непрерывного действия. Нанесение покрытия производится способом конденсации вещества из плазмы на поверхность обрабатываемого изделия в вакууме с плазменно-иммерсионным ионным assisteрованием.

Технические характеристики оборудования, входящего в состав установки позволяют реализовать последовательную или совместную работу всего комплекса электрофизического оборудования.

Обрабатываемые изделия размещаются на панели механизма вращения, расположенной в средней части вакуумной камеры. Загрузка изделий в вакуумную камеру производится через дверь камеры. Пониженное давление в рабочей камере установки создается вакуумной системой, размещенной вблизи стойки установки. Для предохранения узлов установки от перегрева используется система водоохлаждения.

2.2. Автоматизированный комплекс «GasReactionController»

Автоматизированный комплекс GasReactionController предназначен для изучения сорбции и десорбции газов в твердых телах. Газом может быть водород, азот и др. Внешний вид установки представлен на рисунке 10.



Рисунок 10 – Внешний вид “Gas Reaction Controller”

Принцип работы данной установки можно понять по схеме, представленной на рисунке 11.

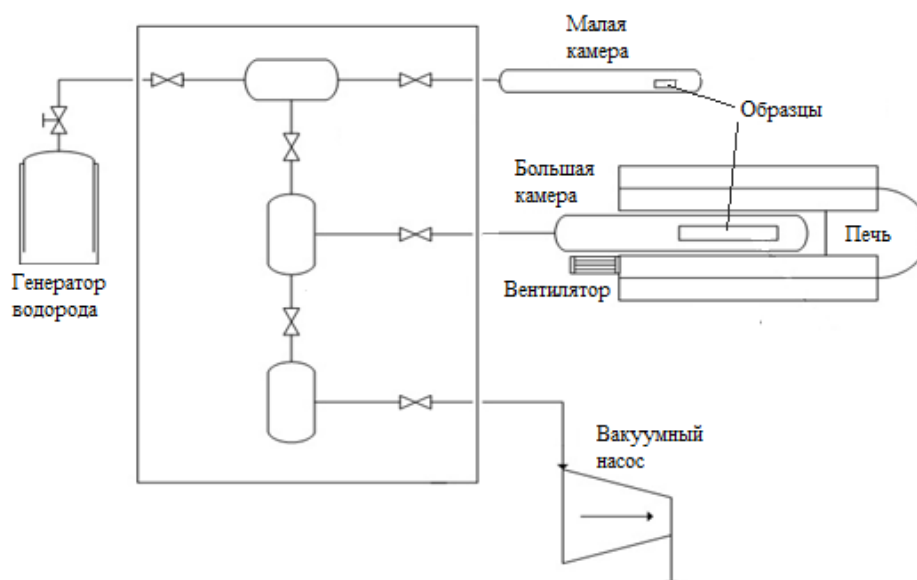


Рисунок 11 – Схема автоматизированного комплекса “GasReactionController”

Процесс насыщения водородом осуществляется следующим образом. Первоначально исследуемый образец помещается в камеру для насыщения. Затем происходит вакуумирование камеры с образцом и нагрев до необходимой температуры с заданной скоростью нагрева. Напуск водорода осуществляется открытием соответствующих клапанов между генератором водорода и соответствующей камерой. Образцы выдерживаются необходимое время в среде водорода. Завершив процедуру наводороживания, производится отключение печи, и последовательно открываются клапана от вакуумного насоса для откачки водорода и остывания системы.

В установке предусмотрены два вида реакционных камер: маленькая, объемом 2 см³ и большая, объемом 175 см³. Температура образца может регулироваться в диапазоне от 20 до 900 °С. В каждой из камер установлены термопары, что позволяет отслеживать температуру непосредственно в реакционной камере.

Молярный объем газа, поглощенного образцом N_s можно рассчитать по формуле:

$$N_s = N_0 - N_g. \quad (2)$$

Здесь начальное содержание газа в образце равно нулю. Если же в образце содержится газ, то формула примет следующий вид:

$$N_s = N_{s0} + (N_0 - N_g), \quad (3)$$

где N_{s0} – начальное количество газа в образце.

На начальном этапе система задает $N_{s0}=0$, но отслеживает его значение на других этапах, например, при изучении десорбции газа.

Поскольку молярное количество газа определяется по существу законом идеального газа ($N = PV/RT$), то точность расчета молярного количества газа ограничена точностью измерения давления и температуры. При достаточно точном регулировании температуры, ограничивающим фактором является измерение давления. Точность измерения давления в процессе сорбции составляет 5,17 торр. Точность измерения количества газа составляет 0,3 ccstp.

Система может выдавать значения концентрации газа как в ccstp, так и в массовых процентах. Абсолютное значение в ccstp связано с N_s по формуле:

$$v = 22413,6 \times N_s. \quad (4)$$

Относительное значение концентрации газа в образцах выражается в массовых процентах:

$$ws = \frac{N_s M_G}{m} \times 100, \quad (5)$$

где m – масса образца, M_G – молярная масса газа. Для водорода $M_G = 2,0158$ г/моль.

2.3. Прибор для измерения толщины покрытий Calotest CAT-S-0000

Прибор предназначен для измерения толщины металлических, диэлектрических, полимерных пленок, в том числе и многослойных в диапазоне 0,1 - 50 микрон. Время анализа не превышает нескольких минут. Могут быть исследованы образцы с плоской, цилиндрической и сферической поверхностью.



Рисунок 12 – Внешний вид прибора CalotestCat-S-0000

Технические характеристики прибора:

Размеры рабочей области – 80×80 мм;

Скорость вращения – (10-3000) об/мин;

Стандартный диаметр шара – 10, 15, 20, 25, 30 мм;

Время шлифования – (2-900) с;

Водный раствор алмазной пыли – (0,5-1,0) мкм.

Валик с электроприводом, предназначенным для вращения шара, удерживается регулируемым рычагом, обеспечивающим большое количество вариантов размещения шара относительно образца. Вращающийся шар с известным диаметром прижимается к поверхности образца при помощи выбранной нагрузки. Положение шара относительно образца и контактная нагрузка являются постоянными. Добавления абразивной пасты к контактному участку обеспечивает быстрое формирование на поверхности образца сферического отпечатка. Пример изображения отпечатка представлен на рисунке 13.

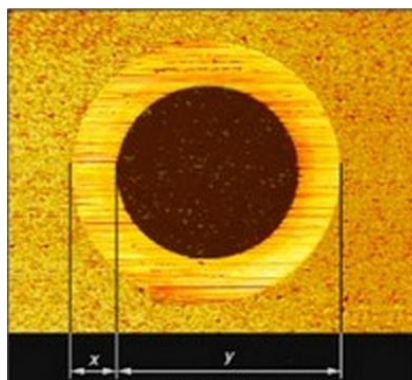


Рисунок 13 – Изображение сферического шлифа

Толщина покрытия определяется по формуле: $d = \frac{x \cdot y}{D}$, где D – диаметр используемого шара.

Использование метода «сферического шлифа» позволяет также производить исследования износостойкости материалов.

2.4. Прибор для измерения адгезионной прочности покрытий MicroScratchTester MST-S-AX-0000

Устройство предназначено для исследования адгезионных свойств и износостойкости тонких пленок и покрытий. Применяется для определения числовых параметров системы пленка-основа, таких как сила трения, адгезионная прочность, изображение акустической эмиссии, а также глубины вдавливания индентора. Внешний вид прибора представлен на рисунке 14.



Рисунок 14 – Внешний вид MicroScratchTesterMST-S-AX-0000

При измерении адгезионной прочности покрытия применяется контролируемое нанесение царапины на образец при помощи алмазного индентора. Индентор проходит по поверхности покрытия при постоянной или изменяемой нагрузке. При определенной критической нагрузке покрытие начинает разрушаться. Критическая нагрузка определяется при помощи датчиков акустической эмиссии, силы трения, глубины проникновения, силы нагружения индентора и оптической микроскопии. В устройстве предусмотрена компьютерная обработка данных. Вся информация во время теста отображается в режиме реального времени.

Технические характеристики прибора:

Диапазон нагрузки – $(10 - 30 \cdot 10^3)$ мН;

Разрешение по нагрузке – 0,1 мН;

Сила трения – $(10 - 30 \cdot 10^3)$ мН;

Разрешение по силе трения – 0,15 мН;

Глубина проникновения индентора – 1000 мкм;

Разрешение по глубине – 1,5 нм;

Рабочая область стола – 75х75 мм;

Скорость нанесения царапины – (0,1–20) мм/мин;

Объективы микроскопа – 50х, 200х, 1000х.

2.6. Высокотемпературный трибометр ТНТ-S-AX0000

Прибор предназначен для измерения коэффициента трения, износостойкости, интенсивности износа в различных температурных условиях, газовой среде и смазывающих жидкостях. Исследуемый образец закрепляется на вращающемся диске. Зафиксированный нагревающий элемент позволяет вращающемуся диску нагреваться до температуры 800 °С.



Рисунок 16 – Внешний вид Высокотемпературного трибометра

TNT-S-AX0000

Исследуемый образец закрепляется на вращающемся диске. Зафиксированный нагревающий элемент позволяет вращающемуся диску нагреваться до температуры 800 °С. Коэффициент трения определяется во время теста путем измерения прогиба эластичного рычага. Износ исследуемого образца определяется путем измерения трека образованного в результате действия неподвижного индентора на вращающийся образец.

2.7. Оптическая спектрометрия высокочастотного тлеющего разряда «GD Profiler2»

Оптический спектрометр высокочастотного тлеющего разряда «GDProfiler2» представляет собой оптический эмиссионный спектрометр высокочастотного тлеющего разряда. На рисунке 17 представлен внешний вид «GDProfiler2».

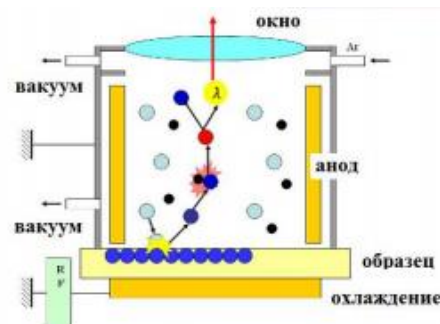


Рисунок 17 – Внешний вид (слева) и принцип работы «GD-Profiler2» (справа)

Принцип работы «GD-Profilер2» основан на контролируемом распылении атомов с поверхности образца под воздействием ионов аргона, бомбардирующих площадь диаметром несколько миллиметров (рис. 2.3). Анод представляет собой медную трубку диаметром, как правило, 4 мм. Катодом является образец, располагаемый перед анодом и отделенный от анода керамикой с кольцевым уплотнением. Образец прикладывается к кольцевому уплотнению. Пространство внутри анода вакуумируется, после чего в трубку поступает аргон. Под воздействием электрического поля ионы аргона ускоряются и движутся к образцу, обладая достаточной энергией для распыления поверхности образца. Распыленные частицы, в свою очередь, поступают в плазму и возбуждаются через соударения. Возникающая оптическая эмиссия характеризует элементный состав образца.

Для поддержания плазмы тлеющего разряда в спектрометре Profiler-2 используется радиочастотный генератор. Генератор работает на частоте 13,56 МГц и может функционировать в импульсном режиме, что дает возможность анализировать хрупкие и низкотеплопроводные образцы. Геометрия источника тлеющего разряда сконструирована так, что распыляется только образец. Глубина распыления зависит от типа образцов и, как правило, лежит в диапазоне от нескольких нм до 150–200 мкм. В спектрометрах GD-Profilер2 используется полихроматор высокого разрешения Пашена-Рунге. Спектральный диапазон спектрометра GD-Profilер2 достаточно широк от 120 до 766 нм.

2.8. Рентгеновский дифрактометр «XRD-7000S»

Для определения фазового состава использовался рентгеновский дифрактометр XRD-7000 (Shimadzu, Япония). Параметры съемки при исследовании образцов Zr-1Nb составляли 40 кВ и 30 мА, угол съемки 5°.



Рисунок 18 – Внешний вид рентгеновского дифрактометра 2.6. «XRD-7000S»

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности (потенциала) разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований. Через такую оценку ученый может найти партнера для дальнейшего проведения научного исследования, коммерциализации результатов такого исследования и открытия бизнеса.

Целью данной главы является расчет затрат, необходимых для проведения НИОКР.

3.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

3.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями результатов НИР являются предприятия атомной энергетики, ядерное и энергетическое машиностроение.

Отрасль применения: атомная промышленность.

Основными сегментами данного рынка являются предприятия атомной энергетики

4.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Для этого составлена оценочная карта, приведенная в таблице 8.

В качестве конкурентных покрытий, которые применяются в науке были выбраны тонкопленочные покрытия $Ti_{67}Al_{33}N$ (k1) и $Ti_{77,9}Al_{19,2}Si_{2,7}N$ (k2).

Таблица 8 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы (макс. 5)			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	B_{k1}	B_{k2}	K_{ϕ}	K_{k1}	K_{k2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1 Повышение срока эксплуатации ТВЭЛов	0,3	4	2	3	1,2	0,6	0,9
2 Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,14	5	3	4	0,70	0,42	0,56
3 Энергоэкономичность	0,14	4	4	2	0,56	0,56	0,28
4. Сложность получения пленочного покрытия	0,09	5	3	2	0,45	0,27	0,18
Экономические критерии оценки эффективности							
1 Конкурентоспособность продукта	0,09	5	3	3	0,45	0,24	0,24
2 Уровень проникновения на рынок	0,06	3	5	5	0,18	0,30	0,30

3 Цена	0,07	5	3	4	0,35	0,21	0,28
4 Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	4	3	3	0,32	0,24	0,24
5 Срок выхода на рынок	0,03	5	3	3	0,15	0,12	0,12
Итого	1	43	33	37	4,36	2,96	3,1

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_j,$$

Где К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;
 B_i – вес показателя (в долях единицы); B_j – балл i -го показателя.

Таким образом, конкурентоспособность разработки составила 4,36, в то время как двух других аналогов 2,96 и 3,1 соответственно. Результаты показывают, что данная научно-исследовательская разработка является конкурентоспособной и имеет преимущества по таким показателям, как удобство в эксплуатации, надежность, цена, предполагаемый срок эксплуатации.

4.1.3. SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 9 - Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Заявленная экономичность и надежность технологии</p> <p>С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Большое количество конкурентов</p> <p>Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой</p>
--	--	---

Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Повышение стоимости конкурентных разработок В3. Переход атомной отрасли на ресурсосберегающие технологии В4. Появление дополнительного спроса на новый продукт	1. Исследование водородостойкости позволяет вывести определенные закономерности, которые улучшают качество металлообработки.	1. Повышение квалификации кадров получающих покрытие 2. Привлечение новых заказчиков
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Переход на альтернативное топливо	1. Продвижение новой технологии с целью появления спроса 2. Применение технологии к альтернативным источникам	1. Данные результаты НИР, можно применять и для других тонкопленочных отраслей, что дает большое пространство для дальнейших исследований.

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

Учитывая отраслевую специфику объекта исследования бакалаврской работы и степень проработанности результатов научного исследования, при написании раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» перечень вышеописанных методов может корректироваться и уточняться консультантом данного раздела (сотрудником кафедры «Менеджмент»).

4.2. Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;

- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл. 10.

Таблица 10 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследований	2	Изучение литературы	Инженер
<i>Проведение ОКР</i>			
Предварительные подготовительные работы	3	Подготовка образцов циркониевого сплава Э-110	Инженер
	4	Написания отчета о проделанной работе	Инженер, Руководитель темы
	5	Покупка катода и мишени	Инженер
	6	Отработка режимов нанесения покрытий	Инженер
	7	Анализ полученных покрытий	Инженер
	8	Обработка полученных результатов	Инженер
	9	Написание отчета о проделанной работе	Инженер, Руководитель темы
Проведение основных работ	10	Напыление покрытий TiN магнетроном	Инженер, Руководитель темы

	11	Насыщение водородом образцов	Инженер, Руководитель темы
	12	Измерение скорости сорбции водорода	Инженер, Руководитель темы
	13	Написание дипломной работы	Инженер, Руководитель темы
	14	Написание тезисов на конференцию	Инженер
	15	Измерение коэффициентов трения	Инженер, Руководитель темы
	16	Рентгенноструктурный анализ	Инженер
	17	Анализ изображений поверхности образцов	Инженер
	18	Измерение твердости покрытий	Инженер, Руководитель темы

4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{max i}}{5}, \quad (3)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (4)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.2.3. Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (5)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = 1,22 \quad (6)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Таблица 12 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Исполни тели		Длительн ость работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{\min} , чел-дни		t_{\max} , чел- дни		$t_{\text{ожс}i}$, чел-дни							
	Руковод.	Студент	Руковод.	Студент	Руковод.	Студент	Руковод.	Студент	Руковод.	Студент	Руковод.	Студент
Составление технического задания	3	-	7	-	6	-	1	-	6	-	7	-
Изучение литературы	-	39	-	64	-	62	-	1	-	62	-	75
Подготовка образцов циркониевог о сплава Э- 110	-	10	-	32	-	25	-	1	-	25	-	30
Написание отчета о проделанной работе	10	10	32	32	25	25	1	1	25	25	30	30

Покупка катода и мишени	-	10	-	32	-	25	-	1	-	25	-	30
Отработка режимов нанесения покрытий	-	20	-	47	-	40	-	1	-	40	-	50
Анализ полученных покрытий	-	20	-	47	-	40	-	1	-	40	-	50
Обработка полученных результатов	-	6	-	14	-	12	-	1	-	12	-	15
Написание отчета о проделанной работе	10	10	19	19	17	17	1	1	17	17	21	21
Напыление покрытий TiN магнетроном	15	15	47	47	37	37	1	1	37	37	45	45
Насыщение водородом образцов	15	15	47	47	37	37	1	1	37	37	45	45
Измерение скорости сорбции водорода	10	10	19	19	17	17	1	1	17	17	21	21
Написание дипломной работы	65	65	140	140	123	123	1	1	123	123	150	150
Написание тезисов на конференцию	-	3	-	7	-	6	-	1	-	6	-	7
Измерение коэффициентов трения	15	15	40	40	33	33	1	1	33	33	40	40
Рентгеноструктурный анализ покрытий	-	15	-	40	-	33	-	1	-	33	-	40
Анализ изображений поверхности образцов	-	3	-	10	-	8	-	1	-	8	-	10
Измерение твердости покрытий	3	3	7	7	6	6	1	1	6	6	7	7
Итого	143	269	351	644	295	546	1	1	295	546	366	666

4.2.3. Календарный план-график в виде диаграммы Ганта

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта. Для планирование НИОКР была выбрана диаграмма Ганта, которая представляет собой тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы 13 с разбивкой по месяцам за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 13 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

[illegible]

– инженер;

– руководитель;

4.2.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

4.3. Формирование и расчёт затрат, включаемых в себестоимость

4.3.1. Затраты на материалы

Стоимость материалов формируется исходя из цены их приобретения и платы за транспортировку, осуществляемую сторонними организациями. В том случае, если расходы, связанные с доставкой материальных ресурсов для конкретной НИОКР, незначительны, то их можно опустить. Расчет затрат на материалы производится по форме приведенной в таблице 14

Таблица 14 – Материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Катод из титана	ТПЧ, 79х45 мм	1	14600	14600
Мишень из титана	ТПЧ, 120х8 мм	1	12500	12500
Всего за материалы				27100
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				1355
Итого по статье С _м				28455

На статью «Материалы» относятся следующие затраты:

- а) сырьё, основные и вспомогательные материалы;
- б) покупные полуфабрикаты и комплектующие изделия;
- в) электроэнергия на технологические цели.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле

$$C = C_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}},$$

где $C_{\text{эл}}$ – тариф на промышленную электроэнергию;

P – мощность оборудования, кВт;

$F_{\text{об}}$ – время использования оборудования, ч.

Амортизация была посчитана для вакуумной установки:

$$A = \frac{\text{Стоймость оборудования}}{\text{Срок службы} \cdot 12 \text{ месяцев} \cdot \text{количество дней в месяце}} \cdot 4 = \frac{256000}{10 \cdot 12 \cdot 30} = 284.4 \text{ руб}$$

Таблица 15 – Электроэнергия на технологические нужды

Используемое оборудование	Цена за 1 кВт·час, руб.	Мощность оборудования, кВт	Время использования оборудования, ч	Стоимость эл. энергии, руб.
Вакуумная установка	5,8	2.6	24	361.92
Микроскоп	5,8	0,2	1	1,16
Системный блок	5,8	0,3	3312	5762,88
Монитор	5,8	0,45	3312	8644,32
Твердомер	5,8	0,25	30	43,5

Рентгенноструктурный анализ	5,8	1	2	11,6
Трибометр	5,8	0,3	10	17,4
Итого				14842,78

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя от университета:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата работника; $T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.; $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 раб.дня за полгода $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя; $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 16 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot k_{\text{р}},$$

где Z_6 – базовый оклад, руб.; k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 17 – Расчёт основной заработной платы

	Z_6 , руб.	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	$T_{р\text{аб}}$, дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	17000	1,3	22100	915,7	295	270131
Студент	9893	1,3	12860,9	532,9	546	298116

4.3.2. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (13)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%*.

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в табличной форме (табл. 18).

Таблица 18 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Величина отчислений во внебюджетные фонды
Руководитель проекта	270131	72935
Студент- дипломник	298116	80491
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27.1%	
Итого	598247	153426

4.3.3. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 19.

Таблица 19 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	28455
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	598247
3. Отчисления во внебюджетные фонды	153426
4. Накладные расходы	14842,78
5. Амортизация	284,4
6. Бюджет затрат НТИ	1333502,18

4.3.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Таблица 20 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	TiN	Ti ₆₇ Al ₃₃ N	Ti _{77,9} Al _{19,2} Si _{2,7} N
1. Повышения срока эксплуатации ТВЭЛОВ	0,1	5	4	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	2	3
3. Сложность получения пленочного покрытия	0,15	5	4	4
4. Энергоэкономичность	0,20	4	3	3
5. Надежность	0,25	4	2	4
6. Материалоемкость	0,15	4	4	4
ИТОГО	1			

$$I_{p-исп1} = 5*0,1 + 4*0,15 + 5*0,15 + 4*0,2 + 4*0,25 + 4*0,15 = 4,25;$$

$$I_{p-исп2} = 4*0,1 + 2*0,15 + 4*0,15 + 3*0,2 + 2*0,25 + 4*0,15 = 3;$$

$$I_{p-исп3} = 3*0,1 + 3*0,15 + 4*0,15 + 3*0,2 + 4*0,25 + 4*0,15 = 3,55.$$

Из приведенных расчетов выявлено, что текущий проект по интегральному показателю ресурсоэффективности вариантов является выгодным и превосходит аналоги. Так как данный проект является только научной разработкой и началом исследования, то интегральный финансовый показатель разработки рассчитать не представляется возможным. В целом, данный проект является перспективным с точки зрения ресурсопотребления, так как в отличие от аналогов в проекте предусмотрены меньшие затраты на

себестоимость будущей продукции за счет использования местных недорогих сырьевых материалов и возможное достижение требуемых характеристик.

5. Социальная ответственность

Введение

В настоящее время в мире происходит большое количество различных ЧС на предприятиях. В связи с этим, актуальной проблемой является обеспечение безопасности рабочих мест на предприятии, и предотвращение возможных ЧС.

Работа по теме деградация физико-механических свойств покрытий нитрида титана на циркониевых сплавах под действием водорода предполагает работу с вакуумным и ионно-плазменным оборудованием, а также работу с баллонами. В данной главе рассмотрены правила безопасной работы труда при выполнении основных этапов нанесения покрытий, а также их последующих испытаний. Рассмотрены условия работы с установкой, выделены опасные и вредные производственные факторы, а также существующие средства и методы защиты, описаны организационные и технические мероприятия, проводимые перед началом работы.

5.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

При проведении работ на установке возможно воздействие вредных факторов таких, как:

- 1) Производственный шум.
- 2) Микроклимат.
- 3) Освещенность.
- 4) Промышленная санитария.

5.1.1. Производственный шум

При работе форвакуумного и турбомолекулярного насосов, а также вентиляции возникает производственный шум. Воздействие шума на организм человека вызывает негативные изменения, прежде всего в органах слуха, нервной и сердечно-сосудистой системах. В соответствии с ГОСТ 12.1.003-83 допустимый уровень шума при работе, требующей сосредоточенности, работе с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами на рабочих местах в помещениях лабораторий с шумным оборудованием, составляет 75 дБА. Зоны с уровнем звука или эквивалентным уровнем звука выше 80 дБА обозначены знаками безопасности по ГОСТ 12.4.026. Рекомендуется использовать следующие средства коллективной защиты: акустические экраны, выгородки, объемные поглотители звука, виброизолирующие опоры; средства индивидуальной защиты: специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противошумные каски.

В качестве материалов для шумозащитных экранов применяют минеральную вату, композитные материалы, пластмассы, поликарбонаты, древесина, металлы, кирпичную кладку, бетон.

5.1.2. Промышленная санитария

В данной дипломной работе проводилась работа по осаждению тонкопленочного покрытия нитрида титана на поверхность сплава циркония с 1% ниобия (Э110).

По ГОСТу 12.1.007-76 ССБТ существует определенная классификация по степени воздействия на организм вредные вещества подразделяют на четыре класса опасности:

- 1-й - вещества чрезвычайно опасные;

- 2-й - вещества высокоопасные;
- 3-й - вещества умеренно опасные;
- 4-й - вещества малоопасные.

Нитрид титана относится к 3 классу опасности поскольку его ПДК составляет 4 мг/м³, также обладает фиброгенным действием. Цирконий также относится к 3 классу опасности поскольку его ПДК составляет 6 мг/м³. Необходимо использовать индивидуальные средства защиты (перчатки, очки, защитный рабочий халат).

5.1.3. Микроклимат

При работе компонентов установки, а также охлаждающего оборудования происходит изменение микроклимата в помещении. В соответствии с [67], параметрами, характеризующими микроклимат являются:

1. температура воздуха;
2. относительная влажность воздуха;
3. скорость движения воздуха.

Выполняемые работы относятся к Ib категории работ. К данной категории относятся работы с интенсивностью энергозатрат 121-150 ккал/ч (140-174 Вт), производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением.

Температура наружных поверхностей технологического оборудования, ограждающих устройств, с которыми соприкасается в процессе труда человек, не превышает 45 °С.

Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений представлены в таблице 5.1.

Таблица 21 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
холодный	21-23	60-40	0,1
теплый	22-24	60-40	0,1

Для создания оптимальных метеорологических условий в помещениях применяют кондиционирование воздуха – автоматическое поддержание в помещениях заданных оптимальных параметров микроклимата и чистоты воздуха независимо от изменения наружных условий и режимов внутри помещения. Системы вентиляции служат для удаления из помещения загрязненного и (или) нагретого воздуха и подачи в него чистого. Системы кондиционирования воздуха обеспечивают создание и автоматическое поддержание в помещении заданных параметров воздушной среды независимо от меняющихся метеоусловий.

В холодное время года для поддержания в помещении оптимальной температуры воздуха применяется отопление.

5.1.4. Расчет искусственной освещенности

Согласно СНиП 23-05-95 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 150 Лк.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Для защиты от слепящей яркости видимого излучения (факел плазмы в камере с катализатором) применяют защитные очки, щитки, шлемы. Очки на должны ограничивать поле зрения, должны быть легкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 5,7$ м, ширина $B = 4,3$ м, высота = $3,7$ м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1,0$ м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 150 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \times B,$$

где A – длина, м;

B – ширина, м.

$$S = 5,7 \times 4,3 = 24,51 \text{ м}^2$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_c = 50\%$, свежепобеленного потолка $\rho_{\Pi} = 70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_z = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Выбираем лампу дневного света Лампа Osram Dulux T E PLUS 32 W 840, световой поток которой равен $\Phi_{\text{лд}} = 2900$ Лм.

Выбираем светильники ССП-158 32Вт 4000К IP65 LLT 4690612008950 Этот светильник имеет одну лампу мощностью 32 Вт, длина светильника равна 1150 мм, ширина – 60 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda=1,1$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,3$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p,$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса,

h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Высота светильника над полом, высота подвеса:

$$h_n = H - h_c = 3700 - 300 = 3400$$

Высота рабочей поверхности над полом: $h_{pp} = 800$.

Расчетная высота, высота светильника над рабочей поверхностью:

$$h = h_n - h_{pp} = 3400 - 800 = 2600 = 2,6 \text{ м}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 2,6 = 2,86 \text{ м}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = \frac{B}{L} = \frac{4,3}{2,86} = 1,5 \approx 2$$

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{A}{L} = \frac{5,7}{2,86} = 1,99 \approx 2$$

Общее число светильников:

$$N = Na \cdot Nb = 2 \cdot 2 = 4$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$l = \frac{L}{3} = \frac{2,86}{3} = 0,953 \text{ м}$$

Размещаем светильники в два ряда. На рисунке изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

Однако необходимо провести дополнительные расчеты:

$$4300 = L_2 + \frac{2}{3}L_3 + 2 \cdot 1150$$

$$L_2 = \frac{(4300 - 2300) \cdot 3}{5} = 1200$$

$$l = \frac{L_2}{3} = \frac{1200}{3} = 400$$

Аналогичные расчеты проводим для длины комнаты:

$$5700 = L_1 + \frac{2}{3}L_1 + 2 \cdot 60$$

$$L = \frac{(5700 - 120) \cdot 3}{5} = 3348$$

$$l = \frac{L_1}{3} = \frac{3348}{3} = 1116$$

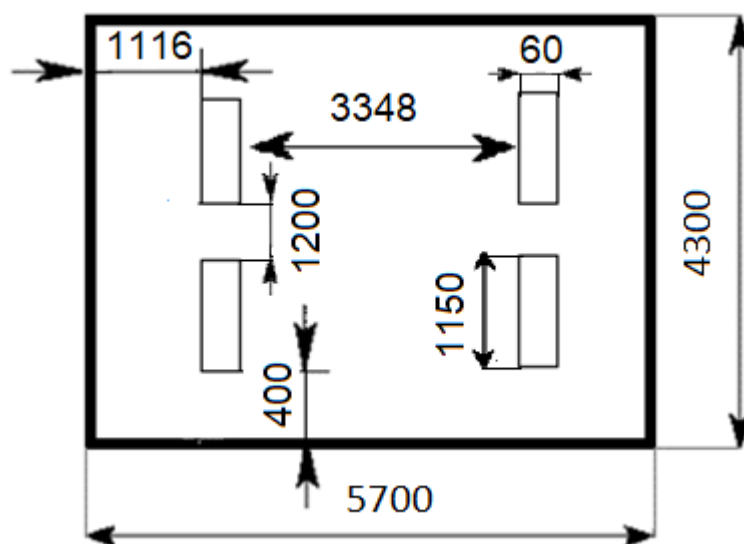


Рисунок 26 – Схема размещения светильников в помещении

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{5,7 \cdot 4,3}{2,6 \cdot (5,7 + 4,3)} = 0,94$$

Для коэффициентов отражения берутся приблизительные значения:

= 50% и потолка = 30%. Значения коэффициента использования светового потока светильников с люминесцентными лампами примем равным 53 %.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле, где N – число ламп:

$$\Phi_{\text{п}} = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{150 \cdot 5,7 \cdot 4,3 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{4 \cdot 0,53} = 2861,42 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% \leq 20\%;$$
$$\frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% = \frac{2900 - 2861,42}{2900} \cdot 100\% = 1,3\%.$$

Таким образом: $-10\% \leq 1,3\% \leq 20\%$, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

5.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

При выполнении работы возможно воздействие следующих опасных производственных факторов:

- 1) Электрическое напряжение.
- 2) Пожаровзрывоопасность.

5.2.1. Электробезопасность

Неисправность проводки установки может стать причиной поражения электрическим током. Прохождение тока может вызывать у человека раздражение и повреждение различных органов. Пороговый не отпускающий ток составляет 50 Гц (6-16мА). Защита от воздействия электрического тока

осуществляется путем проведения организационных, инженерно-технических и лечебно-профилактических мероприятий.

Согласно [68] электробезопасность должна обеспечиваться конструкцией электроустановок, техническими способами и средствами защиты. Электроустановки и их части выполнены таким образом, чтобы работающие не подвергались опасным и вредным воздействиям электрического тока и электромагнитных полей, и соответствовать требованиям электробезопасности.

Согласно [69] помещения разделяются на три класса опасности.

1. Помещение без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с токонепроводящими полами, с температурой 18—20°, с влажностью 40—50%.

2. Помещение с повышенной опасностью (где имеется один из следующих признаков: повышенная температура, влажность 70—80%, токопроводящие полы, металлическая пыль).

3. Помещения особо опасные, в которых имеется наличие двух признаков из второй группы или имеются в помещении едкие или ядовитые взрывоопасные вещества.

Используемое помещение относится к классу с повышенной опасностью, так как в данном помещении возможно одновременное прикосновения человека к имеющей соединение с землей металлоконструкцией здания с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования, с другой стороны.

Граничные значения составляют: $U < 36 \text{ В}$, $I < 0.1 \text{ А}$, $R_{\text{зазем}} < 4 \text{ Ом}$.

Для предотвращения поражения электрическим током следует проводить следующие мероприятия [70]:

1. содержать оборудование в работоспособном состоянии и эксплуатировать его в соответствии с нормативно-техническими документами;

2. своевременно проводить техническое обслуживание;

3. соблюдать технику безопасности при работе с оборудованием;
4. проводить инструктаж для работников [71].

В качестве мероприятий по обеспечению безопасности работы с электрооборудованием могут быть использованы:

1. изоляция токоведущих частей;
2. малое напряжение в электрических цепях;
3. защитное заземление, зануление, защитное отключение;
4. применение разделяющих трансформаторов;
5. использование оболочек и блокировок для предотвращения возможности случайного прикосновения к токоведущим частям и ошибочных действий или операций;
6. защитные средства и предохранительные приспособления.

Средства индивидуальной защиты от электрического тока могут быть:

- Основные (делятся на две категории). К первой категории (при работе с сетью с напряжением более 1000 В) можно относить различного рода указатели напряжения, оборудование и разные изолирующие устройства, а также штанги и клещи. Ко второй категории (при работе с сетью с напряжением менее 1000 В) относят все инструменты с ручками из изолирующего материала, а также резиновые перчатки, резиновые сапоги, резиновые коврики, трапы, кронштейн-площадки и т.д.

- Дополнительные. В эту категорию обычно выделяют все остальные средства индивидуальной защиты, например, специальные галоши, сапоги, коврики и дорожки, а также монтажные пояса, позволяющие безопасно работать на большой высоте, канаты, лестницы разных типов и монтерские когти.

Безопасным для организма человека можно считать переменный ток силой не выше 0,05 А ток силой более 0,05 - 0,1 А опасен и может вызвать смертельный исход.

Безопасным напряжением для человека считается напряжение 42 В в нормальных условиях и 12 В в условиях повышенной опасности (сырость, высокая температура, металлические полы и др.).

Величина измерения сопротивления заземления - Ом и оно должно быть минимально низким по значению. Идеальным случаем считается, если величина будет нулевая, это означает при пропускании "вредных" электротоков какое-либо сопротивление отсутствует, что гарантирует полное поглощение их землей. Так как достигнуть идеала практически невозможно, то вся электроника и электрооборудование создаются на основе некоторых нормированных величин сопротивления заземления равно 60, 30, 15, 10, 8, 4, 2, 1 и 0,5 Ом. Исходя из ПУЭ 1.7.101, требуется не более чем 2, 4 и 8 Ом сопротивление заземления для источника тока (генератора или трансформатора).

5.2.2. Пожаровзрывобезопасность

Согласно [72] используемое помещение относится к категории Б по пожарной и взрывопожарной опасности, так в данном помещении расположены горючие легковоспламеняемые материалы, также баллоны с газами.

Согласно [73] в здании, где ведутся работы, предусмотрены инженерно-технические решения, которые обеспечивают в случае пожара эвакуацию людей (аварийные выходы), подачу средств пожаротушения к очагу, есть сигнализация и работает оповещение о пожаре.

Согласно [74] работники допускаются к работе только после прохождения инструктажа о мерах пожарной безопасности, во всех помещениях вывешены таблички с указанием номера телефона вызова пожарной охраны и таблички с направлением пути эвакуации и план эвакуации.

На рисунке 5.2 представлен план эвакуации 106 аудитории, где находится установка «Радуга-спектр». По плану видно 2 эвакуационных выхода и 3 огнетушителя. В лабораториях расположены огнетушители порошковые ОП-4(з)-ABCE-02 предназначенные для тушения твердых, жидких и газообразных веществ и электроустановок до 1000 вольт.

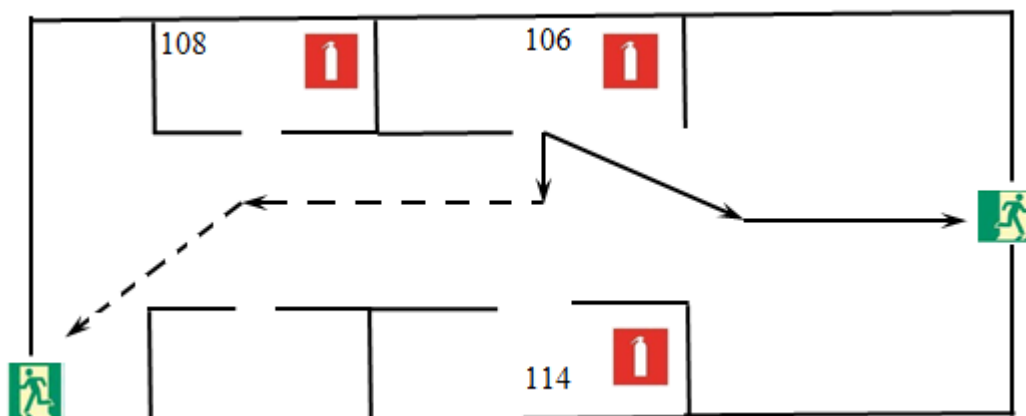


Рисунок 27 – План эвакуации рабочих помещений

Причинами возникновения пожара могут быть:

1. Нарушение правил эксплуатации электрического оборудования;
2. Курение в неустановленных местах;
3. Перегрузка электрических сетей;
4. Нарушение правил пожарной безопасности;
5. Неправильное хранение возгорающихся веществ.

При работе на установке используются баллоны с аргонem и азотом. Эксплуатация баллонов связана с рядом опасных факторов. Наполненный сжатым газом баллон обладает большой энергией, и если в нем образуется отверстие, то газ истекает из него с критической скоростью.

Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, находящихся под высоким давлением описаны в [75,76]. В целях безопасности, выполнены общие правила эксплуатации баллонов:

1. Баллоны установлены вертикально и надежно закреплены в таком положении металлическим хомутом, а также защищены от падения на них сверху каких-либо предметов.

2. Баллоны с газом, устанавливаемые в помещении находятся от радиаторов отопления и других отопительных приборов на расстоянии не менее 1 метра и от печей и других источников тепла с открытым огнем не менее 5 метров. При невозможности выдержать необходимое расстояние, необходимо применять защитные экраны, предохраняющие баллоны от местного разогрева, располагая баллон не ближе 0.1 м от экрана. Установленные баллоны также необходимо предохранять от действия солнечных лучей.

3. Выпуск газов из баллона производится через редуктор, предназначенный исключительно для данного газа и окрашенный в соответствующий цвет. Камера низкого давления редуктора имеет манометр и пружинный предохранительный клапан, отрегулированный на соответствующее давление в емкости; во всех случаях открывать и закрывать вентиль баллона необходимо медленно.

Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности:

А — повышенная взрывопожароопасность. Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 килопаскалей, и (или) вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа.

Б — взрывопожароопасность. Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрыво-

опасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа.

В1 — В4 — пожароопасность. Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они находятся (обращаются), не относятся к категории А или Б.

Г — умеренная пожароопасность. Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.

Д — пониженная пожароопасность. Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Используемое помещение относится к категории Б по пожарной и взрывопожарной опасности, так в данном помещении расположены горючие легковоспламеняемые материалы, также баллоны с газами.

Таблица 22 – Типы огнетушителей и их назначение

Тип	Жидкостные	Порошковые	Углекислотные	Аэрозольные	Воздушно-пенные
Огнетушители	ОВ-1(3) ОВ-8	ОП-5 ОП-8 ОП-2	ОУ-5 ОУ-3 ОУ-10	ВВПА-500 ВВПА-400	ОВП-4 ОВП-8 ОВП-40 (ОВП-50)
Описание	Огнетушащее средство представлено водой и водными растворами химически активных веществ. Также используются	Порошки общего и спец. назначения. Основа порошка – минеральные соли. Добавляют также вещества для предотвращения	Горящее вещество углекислота. При распылении она расширяется в 400 раз, образуя газ. При этом температура понижается до -	Горящее вещество представляет собой галогенизированные углеводороды, которые образуют при распылении бромистый этил, хладон.	Огнетушащее вещество – пена, которая образуется во время химической или механической реакции водных растворов.

	поверхностно активные вещества.	увлажнения и комкования порошка.	70 градусов Цельсия.		
Область применения	Используются только при плюсовых температурах. Назначенные для тушения горящих твердых веществ	Наиболее универсальны используются во всех типах пожаров.	При тушении пожаров в помещении, где нежелательно использовать воду.	Хорошо тушат твердые вещества, электрические установки под напряжением. Исключение щелочи и вещества, содержащие кислород.	Предназначенные для тушения средних пожаров. Не рекомендуется использовать при тушении веществ, поддерживающих горение без кислорода
Класс пожара	А, В	А,В,С,Е	В,С	В,С,Е	А,В,С

5.3. Охрана окружающей среды

В данной работе отходами являются металлические порошки, полученные вследствие чистки камеры и других компонентов установки.

Утилизация металлических отходов состоит из нескольких технологических операций, включающих в себя:

- демонтаж конструкций и сбор металлических отходов;
- транспортировку отходов на перерабатывающее предприятие (ООО "Интерпром", ООО «ЭКОМЕДСЕРВИС», ООО "ПТК "Мегалион" и т.д.);
- проверка металлических отходов (в т.ч. дозиметрическая). Суть проверки исключить возможность приема и продажи металлического лома, который имеет радиоактивное загрязнение или локальные источники, организации (физические и юридические лица)

Также в данной работе отходами являются бумага, картриджи, лампы.

Бумагу, картриджи и лампы собирают и направляют на утилизацию в соответствующую организацию (ООО "Экотом", ООО "УТИЛИТСЕРВИС", ООО "Сорнет").

5.4. Защита в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация – обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Рассмотрим две наиболее типичных чрезвычайных ситуации, которые могут произойти на предприятии.

Первый случай: остановка производства в результате сильных морозов.

Меры по предупреждению ЧС:

1. Повышение устойчивости системы электроснабжения. В первую очередь целесообразно заменить воздушные линии электропередач на кабельные (подземные) сети, использовать резервные сети для запитки потребителей, предусмотреть автономные резервные источники электропитания объекта (передвижные электрогенераторы).

2. Обеспечение устойчивости теплоснабжения за счет запасных автономных источников теплоснабжения, кольцевания системы, заглубления теплотрасс.

3. Обеспечение устойчивости систем водоснабжения (устройство дублирования водопитания, кольцевание системы, заглубление водопроводов, обустройство резервных емкостей и водохранилищ, очистка воды от вредных веществ и т.п.).

4. Обеспечение устойчивости системы водоотведения. Повышение устойчивости системы канализации достигается созданием резервной сети труб, по которым может отводиться загрязненная вода при аварии основной сети. Должна быть разработана схема аварийного выпуска сточных вод непосредственно в водоемы. Насосы, используемые для перекачки загрязненной воды, комплектуются надежными источниками электропитания.

Второй случай: диверсия.

Для обеспечения безопасности работника, предотвращения хищений и проникновении посторонних лиц на предприятие следует использовать ряд мер безопасности:

1. Организовать контрольно-пропускной пункт.
2. Установить системы видеонаблюдения в производственных цехах, а также на всех входах и выходах из здания.
3. Установить оповещающие системы безопасности при несанкционированном проникновении на предприятие в нерабочее время.

5.5. Правовые вопросы обеспечения безопасности

К работе на установке «Радуга-спектр» допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющие медицинских противопоказаний, прошедшие обучение безопасности труда и инструктаж на рабочем месте. К самостоятельной работе допускаются работники после специального обучения и проверки знаний, норм и правил работы с электроустановками, приобретенных навыков и безопасных способов выполнения работы на установке, имеющие не менее III группы по электробезопасности.

Повторная проверка знаний норм и правил электробезопасности проводится с работниками не реже 1 раза в 12 месяцев, повторный инструктаж на рабочем месте – не реже 1 раза в 3 месяца. Проведение всех видов инструктажа должно оформляться в журнале регистрации инструктажа установленного образца, с обязательными подписями получившего и проводившего инструктаж, с указанием даты проведения инструктажа, наименования и номеров инструкции на виды работ, по которым проводится инструктаж.

По данной теме рассматриваются следующие законодательные и нормативные документы:

1. Инструкция по охране труда при выполнении работ на ионно-плазменной установке «Радуга-спектр»;
2. Инструкция № 2-14 по охране труда при работе с электрооборудованием напряжением до 1000 В;
3. Инструкция № 2-08 по охране труда при работе с ПЭВМ и ВДТ;
4. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы;
5. ГОСТ Р 50948-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности;
6. ГОСТ Р 50949-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности;
7. ГОСТ Р 50923-96. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.

Заключение

В данной работе исследуется кинетика сорбции водорода циркониевым сплавом Э110 с защитным покрытием нитрида титана в зависимости от температуры, а также деградация физико-механических свойств покрытий TiN после насыщения водородом. Было показано, что формирование покрытий TiN на поверхности циркониевого сплава Э110 приводит к снижению наводороживания сплава. Скорость поглощения водорода сплавом с покрытием возрастает с увеличением температуры наводороживания.

Твердость покрытий с увеличением температуры наводороживания до 450 °C не изменяется и составляет примерно 28 ГПа, при этом модуль Юнга покрытий возрастает от 250 до 270 ГПа. Увеличение температуры наводороживания до 900 °C приводит к снижению твердости и модуля Юнга покрытия, что может быть связано с увеличением размера зерна в покрытии и появлением растягивающих напряжений вследствие различия термических коэффициентов расширения циркониевого сплава и покрытия.

Показано, что при высоких температурах (900 °C) осажденные методом магнетронного распыления покрытия TiN склонны к растрескиванию. Таким образом, для защиты циркониевого сплава при высоких (аварийных) температурах необходимо формирование промежуточного слоя для выравнивания коэффициента термического расширения, либо формирование более эластичных покрытий.

Список литературы

- [1] Иванова С.В., Глаговский Э.М., Хазов И.А. и др. Пути решения проблемы водородного охрупчивания циркониевых изделий // Труды 4-ой Международ. Школы «Взаимодействие изотопов водорода с конструкционными материалами». – Новгород. – 2008. – С. 51-75.
- [2] Белоус В.А., Вьюгов П.Н., и др. Механические характеристики твэльных трубок из сплава Zr1Nb после осаждения ионно-плазменных покрытий // Вопросы атомной и науки и техники. – 2013. – №2. – С. 140-143.
- [3] Hiroki Hasuyama, Yukari Shima et al. Adhesive and corrosion-resistant zirconium oxide coatings on stainless steel prepared by ion beam assisted deposition // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. – 1997. – Vol. 127-128. – P. 827-831.
- [4] Мубояджян С.А., Луценко А.Н. и др. Исследование свойств нанослойных эрозионно-стойких покрытий на основе карбидов и нитридов металлов // труды Всероссийского научно-исследовательского института. – 2011. – С 23-39.
- [5] R.S. Daum, Y.S. Chu, A.T. Motta Identification and quantification of hydride phases // Journal of Nuclear Materials. – 2009. – Vol. 392. – P. 453-463.
- [6] L. Lanzani, M. Ruch Comments on the stability of zirconium hydride phases in Zircaloy // Journal of Nuclear Materials – 2004. – Vol. 324. – P. 165-176.
- [7] W.M. Small, J.H. Root, D. Khatamian The preparation of Zr-deuteride and phase stability studies of the Zr // Journal of Nuclear Materials – 1998. – Vol. 256. – P. 102-107.
- [8] E. Zuzek, J.P. Abriata The H-Zr (hydrogen-zirconium) system // Bulletin of Alloy Phase Diagrams – 1990. – Vol.11. – P. 11.
- [9] J.S. Bradbrook, G.W. Lorimer, N. Ridley The precipitation of zirconium hydride in zirconium and zircaloy-2 .. // Journal of Nuclear Materials – 1972. – Vol. 42. – P. 142-160.

- [10] M.P. Puls The Effect of Hydrogen and Hydrides on the Integrity of Zirconium Alloy Components // Delayed Hydride Cracking. – London. – 2012. –Vol. 42. –P. 132-150.
- [11] B.A. Cheadle, S.A. Aldridge The transformation and age hardening behaviour of Zr-19 WT% Nb // Journal of Nuclear Materials – 1973. – Vol. 47. –P. 255-258.
- [12] D. Khatamian Absorption of hydrogen in Zr based amorphous alloys under high pressures // Journal of Alloys and Compounds -1999. –Vol. 293. –P. 893-899.
- [13] D. Khatamian Zirconium in the Nuclear Industry //Journal of Alloys and Compounds -2003. –Vol. 356. –P. 22-26.
- [14] D. Khatamian V.C. Ling Hydrogen diffusion in oxides formed on surfaces of zirconium // Journal of Alloys and Compounds -1997. –Vol. 253. –P. 162-166.
- [15] B. Nath, G.W. Lorimer, N. Ridley Effect of hydrogen concentration and cooling rate // Journal of Nuclear Materials -1975 –Vol. 58. –P. 153-162.
- [16] D.B. Rigby Evaluation of the Technical Basis for Extended Dry Storage and Transportation of Used Nuclear Fuel // Nuclear Waste Technical Review Board - 2010. –Vol. 12. –P. 14-19.
- [17] International Atomic Energy Agency Behaviour of High Corrosion Resistance Zr-based Alloys // Proceedings of a Technical Meeting on the State of the Art in Zirconium Alloys Development. -2005. –Vol. 67. –P. 91-112.
- [18] B. Cox Hydrogen uptake during oxidation of zirconium alloys // Journal of Alloys and Compounds. -1997. –Vol. 256. –P. 244-246.
- [19] M. Billone, Y. Yan, T. Burtseva, R.S. Daum, Cladding Embrittlement During Postulated Loss-of-Coolant Accidents // U.S. Nuclear Regulatory Commission. - 2008. –Vol. 12. –P. 8-12.
- [20] International Atomic Energy Agency, Waterside Corrosion of Zirconium Alloys in Nuclear Power Plants // IAEA TECDOC. -1998. –Vol. 123. –P. 21-23.

- [21] P.A.C. Raynaud, A.S. Bielen, Cladding Hydrogen Based Regulations in the United States // Water Reactor Fuel Performance Meeting. -2011. –Vol. 132. –P. 34-56.
- [22] Y. Liu, Q. Peng, W. Zhao, H. Jiang Prediction of high-entropy stabilized solid-solution in multi-component alloys // Materials Chemistry and Physics. - 2008. –Vol. 110. –P. 56-60.
- [23] A.J. Parkinson Hydride Production in Zircaloy-4 as a Function of Time and Temperature // Texas A&M University. -2010. –Vol. 4. –P. 10-15.
- [24] K.B. Colas, A.T. Motta, M.R. Daymond, M. Kerr, J.D. Almer, S.W. Dean Zirconium hydride precipitation kinetics in Zircaloy-4 observation // Journal of ASTM International. -2011. – Vol. 8. –P. 1-17.
- [25] R.N. Singh, R. Kishore, S.S. Singh, T.K. Sinha, B.P. Kashyap Mechanical and Creep Behavior of Advanced Materials: // Journal of Nuclear Materials. -2004. – Vol. 325. –P. 26-33.
- [26] M.P. Puls, S.-Q. Shi, J. Rabier Experimental studies of mechanical properties of solid zirconium // Journal of Nuclear Materials. -2005. –Vol. 336. –P. 73-80.
- [27] J.J. Kearns, C.R. Woods Zirconium in Nuclear Applications // Journal of Nuclear Materials. -1966. –Vol. 20. –P. 241-261.
- [28] H.-G. Kim, I.-H. Kim, B.-K. Choi, J.-Y. Park, Y.-H. Jeong, K.-T. Kim Corrosion processes in nuclear reactor // Corrosion Science. -2010. –Vol. 52. –P. 3162-3167.
- [29] A. Strassar, R. Adamson, F. Gararolli The Effect of Hydrogen on Zirconium Alloys Properties // Advanced Nuclear Technology International. -2008. –Vol. 13. –P. 12-34.
- [30] E.D. Hindle, G.F. Slattery Zirconium in the Nuclear Industry // Journal of the Institute of Metals. -1966. –Vol. 94. –P. 245-249.
- [31] K.W. Song, Y.H. Jeong, K.S. Kim, J.G. Bang, T.H. Chun, H.K. Kim, K.N. Song HIGH BURNUP FUEL TECHNOLOGY // Nuclear Engineering and Technology. - 2008. –Vol. 40. –P. 21-36.

- [32] D. Khatamian, Z.L. Pan, M.P. Puls, C.D. Cann Hydrogen solubility limits in Excel // Journal of Alloys and Compounds. -1995. –Vol. 231. –P. 488-493.
- [33] D. Khatamian, Z.L. Pan, M.P. Puls, C.D. Cann Hydrogen solubility limits // Journal of Alloys and Compounds. -1995. –Vol. 231. –P. 488-493.
- [34] S.-J. Min, J.-J. Won, K.-T. Kim Stress and temperature-dependent hydride reorientation // Journal of Nuclear Materials. 448 (2014) 172-183.
- [35] R.S. Daum, S. Majumdar, Y. Liu, M. Billone Radial-hydride Embrittlement of High-burnup Zircaloy-4 // Journal of Nuclear Science and Technology. -2006. –Vol. 43. –P. 1054-1067.
- [36] B. Cox, R. Peter, Hydriding Mechanisms and Impact on Fuel Performance, ZIRAT // Advanced Nuclear Technology. -2000. –Vol.23. –P. 23-56.
- [37] International Atomic Energy Agency, Delayed Hydride Cracking in Zirconium Alloys in Pressure Tube Nuclear Reactors // IAEA TECDOC. -2004. –Vol. 45. –P. 12-15.
- [38] G.A. McRae, C.E. Coleman, B.W. Leitch // Journal of Nuclear Materials. -2013. –Vol. 396. –P. 130-143.
- [39] A. Nikulina. Zirconium Alloys for Core Elements of Reactors with Water under Pressure // Material Science and Thermal Treatment. -2003. –Vol. 8. –P. 7-12.
- [40] A. Nikulina. Zirconium Alloys in Nuclear Energy // Material Science and Thermal Treatment. -2004. –Vol. 11. –P. 8-12.
- [41] V. Novikov, V. Markelov, V. Shishov Improving of Zirconium Alloys for Increased Operational Parameters of WWER Fuel. Development of Nuclear Energy in Russia and Ukraine – Factor of Sustainable Development of Relations between States // Materials of Joint seminar of Russian Academy of Science and Ukraine National Academy of Science. -2008. –Vol. 34. –P. 236-251.

- [42] Ohring, Milton Materials Science of Thin Films // Deposition and Structure. - 2001. –Vol. 2. -P. 215.
- [43] Bernhard Wolf Handbook of ion sources // CRC Press. -1995. –Vol. 3. -P. 222.
- [44] K. Ishii High-rate low kinetic energy gas-flow-sputtering system// Journal of Vacuum Science and Technology. -1989. –Vol. 7. –P. 256–258.
- [45] T. Jung, A. Westphal Zirconia thin film deposition on silicon by reactive gas flow sputtering: the influence of low energy particle bombardment // Materials Science Engineering. -1991. –Vol. 140. –P. 528–533.
- [46] Данилин Б.С., Сырчин В.К. Магнетронные распылительные системы // Радио и связь. -1982. –С. 23.
- [47] Silva K.-R.F., dos Santos D.S., Robeiro A.F., Almeida L.H. Hydrogen diffusivity and hydride formation in rich-zirconium alloys used in nuclear reactors // Defect and Diffusion Forum. – 2010. – Vol. 297- 301. – P. 722-727.
- [48] Кривобоков В.П., Сочугов Н.С., Соловьев А.А. Плазменные покрытия (методы и оборудование) // Учебное пособие. – Томск. -2008. -С. 108.
- [49] Антимонов А.А., Габис И.Е., Дубровский В.А., Денисов Е.А., Компаниец Т.Н., Курдюмов А.А., Полонский, К.Я., Хазов И.А. Кинетика взаимодействия водорода с плазмонапыленным нитридом титана // Аннотации докладов международного семинара «Взаимодействие изотопов водорода с конструкционными материалами. IHISM-01»: -Саров. - 2001. – С. 43-45.
- [50] Разработка и выбор состава коррозионностойкого в водородосодержащих средах покрытия для легкоокисляющихся материалов // Технический отчет: Москва, НПЦ «ИНТЕКО» ГП «Красная Звезда». -2002. – С. 52.
- [51] Ickchan Kim, FauziaKhatkhatay et al. TiN-based coatings on fuel cladding tubes for advanced nuclear reactors // Journal of Nuclear Materials. – 2012. – Vol. 429. – P. 143-148.

- [52] Rudenja S., Leygraf C., Pan J., Kulu P., Talimets E., Mikli V. Duplex TiN coatings deposited by arc plating for increased corrosion resistance of stainless steel substrates // Surface and Coating Technology. – 1999. – Vol. 114. - № 2-3. – P. 129-136.
- [53] Chu X., Barnett S.A. Reactive unbalanced magnetron sputter deposition of polycrystalline TiN/NbNsuperlattice coatings // Surface and Coatings Technology. – 1993. – Vol. 57. – №1. – P. 13-18.
- [54] Hugh O. Pierson Handbook of refractory carbides and nitrides // Academic Press. -1996. – Vol. 5. –P. 193.
- [55] D. S Stone, K. B. Yoder, W. D. Sproul Hardness and elastic modulus of TiN based on continuous indentation technique and new correlation // Journal of Vacuum Science and Technology -1991. –Vol. 9. –P. 2543–2547.
- [56] L. Toth Transition Metal Carbides and Nitrides // Academic Press. -1971. –Vol. 12. –P. 69.
- [57] M. Drews, K. Wolansk Newly discovered superinsulators promise to transform materials research // Electronics design. -2008 –Vol. 4. –P. 7.
- [58] I. Costina Titanium Nitride (TiN) Coating // Surface Solutions. -2014. – Vol. 3. –P. 14-15.
- [59] W. Kohler Products for ion fusion // IonFusion Surgical. – 2009. –Vol. 6. –P. 25.
- [60] M. Birkholz, E. Ehwald, D. Wolansky, I. Costina, M. Fröhlich, F. Lisdat Corrosion-resistant metal layers from a CMOS process for bioelectronic applications // Surface Coating Technology. -2010. –Vol. 12. –P. 2055–2059.
- [61] H. Hämmerle, K. Kobuch, K. Kohler, W. Nisch, H. Sachs, M. Stelzle Biostability of micro-photodiode arrays for subretinal implantation // Biomaterials. -2002. –Vol. 23. –P. 797–804.

- [62] M J. Drews, M. Fröhlich, U. Haak, K. Schulz, D. Wolansky Ultrathin TiN membranes as a technology platform for CMOS-integrated MEMS and BioMEMS devices // *Advanced Functional Material*. -2009. –Vol. 21. –P. 52–54.
- [63] Hindam H., Whittle D.P. Microstructure, adhesion and growth kinetics of protective scales on metals and alloys // *Oxidation of Metals*. – 1982. – Vol. 18. – №5-6. – P. 245-284.
- [64] Lee D.B., Kim S.H., Niinobe K., Yang C.W., Nakamura M. Materials Science and Engineering. // *Oxidation of Metals*. – 2000. – Vol. 290. – P. 1.
- [65] Ленеvский Л.Н., Ляховецкий М.А., Тюрин В.Н. Микродуговое окислирование циркониевых сплавов в технологии покрытий для перспективных двигателей и энергоустановок // *Электронный журнал «Труды МАИ»*. – №43. – С. 1-20.
- [66] Zhifeng Zou, WenbinXue et al. Effect of voltage on properties of microarc oxidation films prepared in phosphate electrolyte on Zr-1Nb alloy // *Surface and Coatings Technology*. – 2013. – Vol. 222. – P. 62-67.
- [67] СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Минздрав России. – Москва. – 1997.
- [68] ГОСТ 12.1.019 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – Москва. – 1996.
- [69] ПУЭ-7 Правила устройства электроустановок 2009 г.
- [70] ГОСТ 12.1.019-79. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
- [71] ГОСТ 12.0.004-90. ССБТ. Организация обучения безопасности труда. Общие положения.
- [72] НПБ 105-95 Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности.

[73] СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. М.: Гострой России, 1997. – с.12.

[74] ППБ 01 – 03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. – М.: Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2003.

[75] ПБ 03-576-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением».

[76] ГОСТ 12.2.085-2002 «Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования безопасности».